POLARISATION DER X-STRAHLEN,
NACHGEWIESEN MITTELS SEKUNDÄRSTRAHLUNG.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VERFASST UND EINER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT (II. SEKTION)

DER

KGL. BAYR. LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
ZU MÜNCHEN

VORGELEGT AM 12. DEZEMBER 1907

VON

EUGEN BASSLER.

ACAD.
LUDOVIC.
BIBL.

MÜNCHEN 1908.

LEIPZIG
JOHANN AMBROSIUS BARTH
1908

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Die vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Universität München in der Zeit vom Oktober 1905 bis zum März 1907 ausgeführt.

Es sei mir gestattet,

Herrn Geheimen Rat Professor Dr. Röntgen

für die Anregung zu dieser Arbeit, für das der ganzen Ausführung entgegengebrachte große Interesse, sowie für die zahlreichen fördernden Ratschläge und für die in jeder Beziehung gewährte Unterstützung meinen ehrerbietigsten und herzlichsten Dank auszusprechen.

Eugen Bassler.

Inhalt.

Seite

I. Einleitung 7

II. Elektrischer Nachweis der Polarisation 11

1. Vorversuche 11

2. Verbesserte, aber noch nicht definitive Versuchsanordnung 12

3. Einstellung der Apparate 18

4. Gang des Versuches 20

5. Beseitigung der Fehlerquellen 23

6. Versuche mit festen, flüssigen und gasförmigen Radiatoren 27

III. Versuche, die Polarisation photographisch nachzuweisen 41

IV. Messung der Polarisation 48

1. Endgültige Versuchsanordnung 49

2. Endgültige Messungen 60

V. Zusammenfassung der Resultate 102

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548315_0060

I.

Einleitung.

1. *Blondlot*[1]) war der erste, der auf Grund seiner Versuche die Behauptung aufstellte, daß die X-Strahlen, so wie wir sie gegenwärtig erzeugen, polarisiert emittiert würden. Dieser Gedanke ist übrigens schon früher von Gifford[2]) ausgesprochen, doch nicht auf seine Richtigkeit experimentell geprüft worden. Blondlot machte seine Versuche auf Grund folgender Überlegung:

Da jeder X-Strahl aus einem Kathodenstrahl entsteht, so bestimmen (im allgemeinen) diese beiden Strahlen eine Ebene („Aktionsebene") und durch jeden X-Strahl geht somit eine Ebene, in der der Strahl ausgezeichnete Eigenschaften haben kann, d. h. möglicherweise polarisiert ist.

Zum Nachweis dieser Polarisation diente Blondlot eine kleine Funkenstrecke. Diese wird in ein X-Strahlenbündel gebracht, dessen Achse senkrecht zur Achse der Kathodenstrahlen verläuft. Die Funkenstrecke wird dann um die X-Strahlenachse gedreht, in einer Ebene, die zu dieser Achse senkrecht liegt. Dabei kommt die Funkenstrecke abwechselnd parallel und senkrecht zur Kathodenstrahlenachse zu liegen und zeigt Intensitätsvariationen, nämlich ein Maximum in der parallelen, ein Minimum in der senkrechten Lage. Wird die X-Strahlenröhre um die Achse der Kathodenstrahlen gedreht, so bleibt der Verlauf der Erscheinung derselbe. Ist die Achse des benutzten X-Strahlenbündels nicht senkrecht zu den Kathodenstrahlen, so nimmt die Polarisation ab.

---

1) R. Blondlot, Journ. de Phys. (4) **2**. p. 169—172. 1903.
2) J. W. Gifford, Nature **54**. p. 172. 1896.

Versuche, die früher im hiesigen Institut angestellt wurden, zeigten die Unrichtigkeit der Blondlotschen Schlußfolgerungen und gaben auch eine Erklärung dafür.

Blondlots Versuche boten Lieben[1]) die Veranlassung, die Polarisation der X-Strahlen mittels Sekundärstrahlen, die er an Hg entstehen und auf eine photographische Platte wirken ließ, zu untersuchen. Er erhielt Polarisation, mußte aber, als er später seine Versuche wiederholte, erkennen, daß diese Polarisation nur vorgetäuscht war durch jene schwachen X-Strahlen, die an der Glaswand der Röhre entstehen.

Die Liebenschen Versuche hätten zum Barklaschen Resultat führen müssen.

2. *Barklas Versuche.* Barkla[2]) gibt an, daß er zu seinen Versuchen über die Polarisation der X-Strahlen durch folgende Betrachtungen geführt wurde:

„Nach der elektromagnetischen Impulstheorie der X-Strahlen erfährt jedes Ion in einem Medium, welches von diesen Impulsen durchsetzt wird, infolge der intensiven elektrischen Felder in denselben eine Beschleunigung, und wird folglich die Quelle einer sekundären Strahlung, die am intensivsten in der Richtung senkrecht zur Beschleunigung des Ions ist, und am schwächsten in der Richtung der Beschleunigung.

Da nun die X-Strahlung in der X-Strahlenröhre in der Weise hervorgerufen wird, daß die Elektronen der Kathodenstrahlen in angenähert parallelen Bahnen von der Kathode zur Antikathode geschleudert werden, ist es wahrscheinlich, daß an der Antikathode eine größere Beschleunigung in der Fortpflanzungsrichtung der Kathodenstrahlen vorhanden ist als in einer dazu senkrechten Richtung. Demzufolge müßte ein primäres X-Strahlenbündel, das in einer Richtung senkrecht zu den Kathodenstrahlen verläuft, größere elektrische Intensität parallel zu den Kathodenstrahlen zeigen als senkrecht zu den Kathodenstrahlen.

Die Sekundärstrahlung, die ein von einem solchen primären Strahlenbündel durchsetzter Körper emittiert, müßte — in einer Ebene senkrecht zur Achse des primären Strahlen-

1) R. v. Lieben, Physik. Zeitschr. **4.** p. 471. 1903 und **5.** p. 72 bis 73. 1904.

2) C. G. Barkla, Phil. Trans. (A) **204.** p. 467—479. 1905.

bündels untersucht — parallel den Kathodenstrahlen minimale, senkrecht zu den Kathodenstrahlen maximale Intensität zeigen."

Barkla führte die Versuche in der Weise aus, daß er die Sekundärstrahlen eines hierzu geeigneten Körpers, der von senkrecht zu den Kathodenstrahlen ausgehenden Primärstrahlen getroffen wurde, in einer Ebene, senkrecht zur Achse des primären Bündels, auf zwei Elektroskope einfachster Art wirken ließ. Die Richtung von der Sekundärstrahlenquelle zu den Elektroskopen war senkrecht bzw. parallel zu den Kathodenstrahlen. Der Körper, der, von X-Strahlen getroffen, die Sekundärstrahlen emittierte, bestand bei Barklas Versuchen aus Papier, Pappe, Aluminium, Schwefel, Kohle oder verschiedenen Metallen. Er möge „Radiator" genannt werden. Die Form der Barklaschen Radiatoren war die kleiner quadratischer Scheiben. Um eine Kontrolle für die Richtigkeit der Beobachtung zu erhalten, wurde die Röhre um die Achse des senkrecht zu den Kathodenstrahlen emittierten primären X-Strahlenbündels gedreht. Ein passend gewählter Punkt der Antikathode, der am Fadenkreuz eines Fernrohres betrachtet wurde, durfte sich beim Drehen der Röhre nicht verschieben, um nicht eine unsymmetrische Bestrahlung des Radiators zu veranlassen.

Als Resultat seiner Versuche fand Barkla, daß die in verschiedenen Richtungen verschiedene Sekundärstrahlung eine teilweise Polarisation der primären X-Strahlen anzeigt. Diese Polarisation läßt sich um so leichter nachweisen, je geringer die Dichte des Radiators ist. Die Schwermetalle versagen hierbei vollständig. Als Maximum erhielt Barkla für Aluminium 20 Proz. Polarisationsunterschied bezogen auf die Sekundärstrahlung in einer Richtung. Auch war ein Einfluß der Röhrenhärte auf die Polarisation zu erkennen, doch ist der Sinn desselben nicht angegeben.[1]) Später untersuchte

1) Eine nähere Angabe darüber findet sich weder in den „Phil. Trans.", noch in den „Proc. Roy. Soc.", noch in der „Nature". Andere Publikationen Barklas waren mir nicht zugänglich. Erst während die Dissertation druckfertig gemacht wurde, finde ich, gelegentlich des Meinungsaustausches Barklas mit Bragg über die Natur der X-Strahlen, die Bemerkung Barklas, daß weiche X-Strahlen am meisten Polarisation zeigen. Nature 77. p. 319. 1908.

dann Barkla[1]), ob auch die Sekundärstrahlen polarisiert sind; es gelang ihm, aus der Verschiedenheit der durch die Sekundärstrahlen erzeugten Tertiärstrahlen eine fast vollständige Polarisation der Sekundärstrahlen nachzuweisen.

Gegen die Barklaschen Versuche läßt sich einiges einwenden:

Zunächst wird die Luftschicht, die den Radiator umgibt, nicht nach beiden Richtungen in gleicher Ausdehnung bestrahlt. Infolgedessen ist die an sich unvermeidliche Sekundärstrahlung der Luft nicht gleich intensiv nach beiden Richtungen.

Dann bringt die Verwendung von Blechen, Scheiben und Platten als Radiatoren selbst bei sorgfältigster Aufstellung Asymmetrie der Sekundärstrahlung nur zu leicht mit sich. Das Drehen der Röhre eliminiert zwar die hauptsächlichsten Fehler; doch gibt das Elektrometer nicht die richtigen Werte an, namentlich dann, wenn die Strahlung des Radiators von der der Luft bzw. der Intensität nicht sehr verschieden ist. Darauf wird in § 17 bei den Versuchen mit Al zurückzukommen sein.

Ferner sind die an der Glaswand der Röhre entstehenden X-Strahlen nicht in genügender Weise ausgeschlossen.

Auch ist die Beobachtung eines geeigneten Punktes der Antikathode mittels Fernrohr nicht zuverlässig, wenn es gilt, die Emissionsstelle der X-Strahlen im Raume festzuhalten. —

Barkla definiert den Betrag der Polarisation folgendermaßen:

Der Radiator wird eine gewisse Zeit t bestrahlt; dabei wird die Wirkung A_1 am Elektroskop I und die Wirkung A_2 am Elektroskop II festgestellt. Dann wird die Röhre um 90^0 um die Achse des senkrecht zu den Kathodenstrahlen emittierten X-Strahlenbündels gedreht und der Radiator wieder bestrahlt, nun aber eine Zeit t', d. h. so lange, bis am gleichen Elektroskop I der gleiche Wert $B_1 = A_1$ wie vorher erhalten wird, während Elektroskop II den Wert B_2 angeben mag. Barkla bezeichnet nun das Verhältnis $(B_2 - A_2/A_1)$ als Polarisation. Nach der von mir gewählten Definition (vgl. § 42) würden sich

1) C. G. Barkla, Proc. Roy. Soc. (A) **77.** p. 247—255. 1906.

die Barklaschen Zahlen über die Größe der Polarisation in Prozenten auf ein Viertel ihres Wertes reduzieren.

3. In der *vorliegenden Arbeit* habe ich experimentell untersucht, ob die von Barkla beobachteten Erscheinungen in Wahrheit die Folge einer Polarisation der X-Strahlen sind und die Polarisation quantitativ bestimmt.

Es wurde weiter wiederholt — aber stets mit negativem Resultat — versucht, die Polarisation der X-Strahlen mittels Sekundärstrahlen auch photographisch nachzuweisen.

Inzwischen erschien die Veröffentlichung von Haga[1]), der mittels Sekundärstrahlen den Nachweis einer Polarisation der Primärstrahlen photographisch nicht erhielt, wohl aber eine Polarisation der Sekundärstrahlen mittels Tertiärstrahlen nachweisen konnte.

Hierauf, sowie auf die von van der Waals jr.[2]) veröffentlichte Notiz wird unten zurückzukommen sein.

II.

Elektrischer Nachweis der Polarisation.

1. Vorversuche.

4. Die vom Radiator ausgehende sekundäre X-Strahlung wurde in einer Ebene senkrecht zur Achse des senkrecht zu den Kathodenstrahlen emittierten primären X-Strahlenbündels in zwei Richtungen, parallel und senkrecht zu den Kathodenstrahlen, gemessen durch die von den Sekundärstrahlen bewirkte Entladung eines Exnerschen Elektroskopes. Luft und Aluminiumblech, als Radiatoren benutzt, zeigten bei dieser ersten Versuchsanordnung keine Polarisation. Da nach Barklas Angaben sich die Polarisation nur mittels Substanzen von geringer Dichte nachweisen läßt, wurde nach einem Körper gesucht, der, bei einer Dichte, kleiner oder höchstens gleich der des Aluminiums, möglichst intensive Sekundärstrahlen aussendet. Sehr geeignet erwies sich hierfür Paraffin. Es erwies sich am vorteilhaftesten, wenn der Radiator eine möglichst regel-

1) H. Haga, Ann. d. Phys. 23. p. 439—444. 1907.
2) van der Waals jr., Ann. d. Phys. 22. p. 603—605. 1907.

mäßige Gestalt erhielt, die ungleichmäßige Neigungen, ungleiche Flächen ausschloß. Deshalb wurde die Kugelform gewählt. Aus Symmetriegründen wurde der Querschnitt des Primärstrahlenbündels kreisförmig gemacht und die Kugel konzentrisch eingestellt. Am meisten erschwert wurden die Versuche durch die Änderung in der Strahlungshärte, die die Intensität der Sekundärstrahlen außerordentlich beeinflußt. Zudem wurden die Messungen in jenen beiden Richtungen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander ausgeführt. Trotzdem konnte schon mit dieser ersten Versuchsanordnung bei der Paraffinkugel eine Polarisation nachgewiesen werden, wenn auch gewöhnlich unter zwanzig Versuchen nur fünf mit positivem Resultat verliefen. Die Versuche gelangen übrigens nur bei weichen Strahlen.

5. Mit dieser Methode, bei der also die Sekundärstrahlung in beiden Richtungen nicht zu gleicher Zeit, sondern nacheinander gemessen wurde, waren wegen der beständigen Härteänderung der Röhre sichere Resultate nicht zu erhalten. Barkla beobachtete mittels zweier Elektroskope die Strahlung in beiden Richtungen gleichzeitig, war somit unabhängig von der Härteänderung. In der vorliegenden Arbeit kam eine Differentialmethode zur Verwendung, die gestattete, die Differenz der Intensität in zwei zueinander senkrechten Richtungen unmittelbar an einem Elektroskop abzulesen. Das Prinzip dieser Differentialmethode ist im folgenden Paragraphen angegeben.

2. Verbesserte, aber noch nicht definitive Versuchsanordnung.

6. Prinzip der Differentialmethode. Ein X-Strahlenbündel, dessen Achse senkrecht zur Achse der Kathodenstrahlen verläuft, trifft auf eine Paraffinkugel, deren Mittelpunkt auf der Achse des X-Strahlenbündels liegt. Die Kugel sendet nun nach allen Richtungen sekundäre Kathodenstrahlen und sekundäre X-Strahlen aus. Die sekundären Kathodenstrahlen werden sogleich in der Luft absorbiert, zeigen somit keinerlei störende Wirkung. Die sekundäre X-Strahlung wird nun in einer Ebene gemessen, die senkrecht zur Achse des

primären X-Strahlenbündels durch den Mittelpunkt der Paraffinkugel — des Radiators — geht. Innerhalb dieser Ebene trifft die Sekundärstrahlung in zwei zueinander senkrechten Richtungen auf je einen Kondensator. Beide Kondensatoren bestanden aus je einer Metallplatte und einem Metallgitter. Beide Platten waren senkrecht zu der sie treffenden Sekundärstrahlung gestellt und gleichzeitig mit dem Elektrometer verbunden. Vor jeder Platte und parallel zu ihr befand sich je ein Gitter, von denen das eine durch eine Akkumulatorenbatterie auf +100 Volt, das andere auf −100 Volt geladen war. Die Sekundärstrahlen, die vom Radiator ausgehen, passieren die Gitter, ionisieren die Luft zwischen Gitter und zugehöriger Platte, und ein Teil der Ladung des Gitters wird auf die Platte und damit auf das Elektroskop übertragen. Dieses empfängt also gleichzeitig positive und negative Ladung. Sind nun bei beiden Kondensatoren Kapazität und entsprechende Entfernungen von Radiator, Gitter und Platte gleich, so sind — unter der Voraussetzung, daß die Sekundärstrahlung des Radiators nach beiden Richtungen gleich intensiv ist — die Ladungen, die das Elektrometer erhält, entgegengesetzt gleich und neutralisieren sich völlig. Ein Überschuß der einen Elektrizitätsart weist auf eine größere oder geringere Intensität der Sekundärstrahlung des Radiators in der einen Richtung hin, und damit, wenn nur der Radiator selbst und die ihn umgebende Luft gleichmäßig symmetrisch bestrahlt wird, auf eine Polarisation der primären X-Strahlen. Diese Methode ist unabhängig von einer Änderung in der Härte der X-Strahlenröhre.

7. Nach dieser Nullmethode wurden in vorliegender Arbeit die Versuche über die Polarisation der X-Strahlen angestellt. Zu Kontrollversuchen mußte die X-Strahlenröhre um die Achse des senkrecht zu den Kathodenstrahlen emittierten X-Strahlenbündels gedreht werden. Um dies rasch und ohne jede weitere Einstellung auszuführen, wurde die X-Strahlenröhre in eine geeignete Drehvorrichtung eingespannt. Ein scharfes Kriterium für eine etwaige bei der Drehung der Röhre eingetretene Verschiebung der Emissionsstelle der X-Strahlen auf der Antikathode ergab die Schattenprojektion zweier an geeigneter Stelle aufgestellten Fadenkreuze aus Bleidraht

auf den Bariumplatincyanürschirm. Alle diese Einrichtungen sind im folgenden Paragraphen beschrieben.

Schließlich möge noch ein im Raume festes, rechtwinkliges Koordinatensystem gedacht werden, um eine rasche und bequeme Bezeichnung aller vorgenommenen Manipulationen zu ermöglichen. Der Ursprung des Koordinatensystems liege auf der Antikathode in der Emissionsstelle der X-Strahlen. Die X-Achse laufe horizontal und sei die Achse des den Radiator bestrahlenden primären X-Strahlenbündels. Die *Z*-Achse sei vertikal nach oben gerichtet.

8. Fig. 1 zeigt das Wesentlichste der *Versuchsanordnung* in Horizontalprojektion, Fig. 2 in Vertikalprojektion, im Maßstab 1 : 12,5.

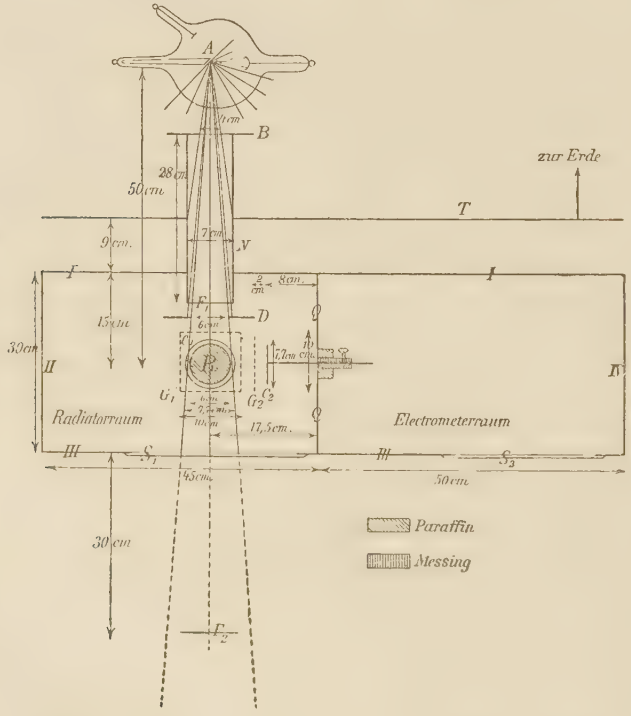


Fig. 1. Horizontalprojektion. Maßstab 1 : 12,5.

Bleikasten: Radiator, Kondensatoren und Elektrometer befanden sich in einem großen Bleikasten, dessen Dimensionen

aus Fig. 1 und Fig. 2 zu ersehen sind. Die Dicke des benutzten Bleibleches betrug 3 mm. Durch die vertikale Zwischenwand Q war der Kasten in zwei Teile, Radiatorraum und Elektrometerraum getrennt. Die Rückwand (III) war größtenteils durch die auf Messingstreifen gleitenden verschiebbaren Platten S_1 und S_2 ersetzt. Parallel zur Wand I befand sich ein großer Bleischirm T, der mit der vertikalen Wand I durch eine in das Pb eingesetzte kreiszylindrische Röhre N aus Pb-Blech von 7 cm innerem Durchmesser und 28 cm Länge

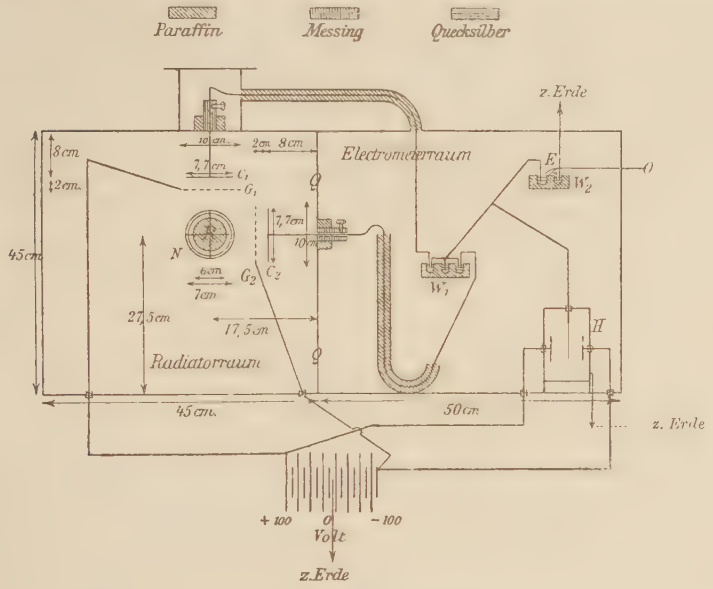


Fig. 2. Vertikalprojektion. Maßstab 1 : 12,5.

verbunden war. Die Achse dieser Röhre war der Bodenplatte (Abstand 27,5 cm) und der Vertikalwand Q (Abstand 17,5 cm) parallel. An das herausragende Ende der Röhre N wurde senkrecht zu ihrer Achse eine 5 mm starke Pb-Platte B angelötet und diese konzentrisch zur Rohrachse mit einem runden, passenden (vgl. § 17) Loch versehen. Diese Öffnung wurde mit 0,03 mm starker Aluminiumfolie, die mittels Reißnägel mit dem Pb gut leitend verbunden war, verschlossen. Alle Teile des Bleikastens waren untereinander durch angelötete Cu-Drähte verbunden und zur Erde abgeleitet (Wasserleitung).

Kondensatorplatten. In den Radiatorraum wurde nun eine runde Kondensatorplatte C_1 (Durchmesser 7,7 cm) aus Messing, die von einem auf der Deckplatte des Kastens über dem Radiator ruhenden Paraffinblock isoliert getragen wurde, horizontal so eingesetzt, daß ihr Mittelpunkt vertikal über die verlängert gedachte Achse des Rohres N zu liegen kam und von der vertikalen Wand I 15 cm entfernt war. Eine zweite, genau gleiche Kondensatorplatte C_2, deren Stiel in analoger Weise in der vertikalen Zwischenwand Q isoliert mittels eines Paraffinstückes befestigt war, wurde in eine solche vertikale Lage parallel der Zwischenwand Q gebracht, daß ihr Mittelpunkt mit der verlängert gedachten Achse des Rohres N in einer horizontalen Ebene lag und von der Wand I 15 cm entfernt war. Einzelheiten der Befestigung sind aus Figg. 1 und 2 zu ersehen. Die Platten ließen sich mittels Führung und Klemmschraube einstellen. Der Abstand der Platten von der Deckplatte bzw. von der Zwischenwand Q betrug 8 cm. Der Paraffinblock, der die horizontale Kondensatorplatte C_1 zu tragen hatte, war von einem oben mit einer Pb-Platte verschlossenen Pb-Zylinder mit kreisförmigem Querschnitt umgeben. Eine starke, mit Paraffin ausgegossene Pb-Röhre, die konaxial einen mit der horizontalen Kondensatorplatte C_1 verbundenen Cu-Draht enthielt, war am einen Ende in den eben erwähnten Bleizylinder, am anderen in die Deckplatte des Elektrometerraumes eingelassen. Der Kapazitätsgleichheit halber wurde eine zweite Bleiröhre von denselben Dimensionen im Innern des Elektrometerraumes angebracht. Sie enthielt den Cu-Draht, der mit der vertikalen Kondensatorplatte C_2 verbunden war.

Gitter. 2 cm unterhalb der horizontalen Platte C_1 wurde nun ein quadratisches Messinggitter G_1 von der Seitenlänge 10 cm und der Maschenweite 4×4 mm, das von einem Hartgummistück getragen wurde, horizontal aufgestellt. Ein gleiches Gitter G_2 wurde parallel der vertikalen Platte C_2 vor diese in einer Entfernung von 2 cm aufgestellt; auch dieses Gitter war an dem Hartgummistück befestigt.

Fadenkreuze. An das in den Radiatorroum hineinragende Ende der Röhre N wurde ein Fadenkreuz F_1 aus Pb-Draht in der Weise gekittet, daß der Schnittpunkt des

Vertikalfadens mit dem Horizontalfaden genau in die Rohrachse zu liegen kam. Ein zweites Bleifadenkreuz F_2 wurde parallel dem ersten in einer Entfernung von 30 cm hinter der Vertikalwand III außerhalb des Bleikastens axial aufgestellt.

Radiator. Der Radiator R (die Sekundärstrahlenquelle) war eine Kugel (Durchmesser 6 cm) aus hochsiedendem Paraffin, unten von einer dünnen Messingstange getragen. Sie wurde so aufgestellt, daß ihr Mittelpunkt in einer Entfernung von 15 cm von der Wand I in die verlängert gedachte Achse der Röhre N zu liegen kam.

Wippen. Um Kontrollversuche leicht ausführen zu können, wurde in dem Elektrometerraum eine Paraffinwippe W_1 mit drei amalgamierten mit Hg gefüllten Cu-Näpfen aufgestellt. Die Wippe war soweit wie möglich mit geerdetem Stanniol überzogen. Von den beiden äußeren Näpfen stand der eine mit der vertikalen Kondensatorplatte C_2, der andere mit der horizontalen Kondensatorplatte C_1 in Verbindung. Vom mittleren Napf führte ein Draht zum Blättchen des Elektrometers. Eine zweite Wippe W_2, die von außen zu betätigen war, setzte den mittleren Napf der Wippe W_1 beim Umlegen des stets geerdeten Bügels E mit der Erdleitung in Verbindung.

Elektrometer. Das Meßinstrument war ein Hankelsches Elektrometer H. Das Gehäuse war geerdet, die beiden Seitenplatten durch eine Akkumulatorenbatterie auf Plus und Minus 100 Volt geladen. Die Glasplatten des Elektrometers wurden so weit wie möglich mit Stanniol bedeckt und dieses geerdet. Für das Ablesefernrohr wurde eine passende Öffnung in die Wand IV gemacht. Die Beleuchtung erfolgte durch eine außerhalb des Pb-Kastens vor einem Bleiglasfenster angebrachte Lampe mittels Spiegel. Außerdem stand noch im Elektrometerraum ein Gefäß mit konz. Schwefelsäure.

Akkumulatorenbatterie. Neben dem Pb-Kasten befand sich ein großer, allseitig geschlossener Kasten aus Weißblech, der 100 Hochspannungsakkumulatoren enthielt. Die Mitte der Batterie war geerdet. Der positive Pol stand mit dem horizontalen Gitter G_1, der negative mit dem vertikalen Gitter G_2 in Verbindung. In beide Leitungen waren gleiche Lampenwiderstände eingelegt. Zwei andere Leitungen führten von den Batteriepolen zu den Seitenplatten des

Hankelschen Elektrometers. In diese Leitungen waren gleiche Flüssigkeitswiderstände (dest. H_2O) eingelegt. Alle Widerstände befanden sich in geerdeten Blechkästen, die Zuleitungen, soweit sie außerhalb der Kästen geführt werden mußten, in geerdeten Bergmannröhren. Somit war alles gegen Wirkungen des Induktors geschützt. Die Spannung der Batterie wurde öfters kontrolliert; sie betrug Plus und Minus 103 Volt in jeder Hälfte.

Drehvorrichtung. Auf die horizontale Achse einer Zentrifugalmaschine wurde ein Halter gesetzt, der die X-Strahlenröhre am Kathoden- und Antikathodenansatzrohr festhielt. Die beiden Arme des Halters waren so bemessen, daß die Längsachse der Röhre senkrecht zur Drehachse der Maschine lag. Der Halter war aus Holz so fest hergestellt, daß er einer durch die Drehung bewirkten Schwerpunktsänderung nicht nachgab. Schlittenverschiebung und Stellschrauben ermöglichten es, die Röhre in der zur Drehachse senkrechten Ebene beliebig zu verschieben, so daß also die Emissionsstelle der Strahlen in die verlängert gedachte Achse der Zentrifugalmaschine gebracht werden konnte. Der Winkel, um den die Röhre gedreht wurde, war an einer Kreisteilung abzulesen.

X-Strahlenröhren. Im Verlauf der Untersuchung kamen sechs Röhren zur Verwendung; alle gehörten demselben Typus an: Fokusröhren, mittelhart, für 35—40 cm Schlagweite, von Siemens bezogen, von Gundelach in Gehlberg geblasen.

Induktorium. Anfangs wurde ein Induktorium älteren Systems, für 40 Volt und 5 Amp., das mittels Voltohm-(Motor-) unterbrecher betrieben wurde, benutzt, dann ein neuerer Klingelfuss-Induktor (110 Volt, 4 Amp.), der meistens mit dem Turbinen-Unterbrecher betrieben wurde.

3. Einstellung der Apparate.

9. Einstellen der Emissionsstelle der X-Strahlen in die Drehachse der Zentrifugalmaschine. Auf dem Pt der Antikathode ist eine etwas angegriffene, erodierte Stelle zu erkennen, die ungefähr in der Mitte liegt, eben da, wo die Kathoden-

strahlen auftreffen. Diese Stelle wurde durch Beobachtung am Fadenkreuz eines kleinen Fernrohres während des Drehens der Röhre in die Drehachse der Maschine gebracht. Dies Verfahren erwies sich zwar zum Nachweis der Polarisation am Paraffin als hinlänglich genau, dagegen für andere Radiatoren z. B. Al unzulänglich. Deshalb wurde nun mittels der X-Strahlen selbst vor der Aufstellung vor dem Rohre N auf folgende Weise eingestellt. In die verlängert gedachte Achse der Drehvorrichtung wurden senkrecht zu dieser Achse zwei parallele, horizontale, dünne Pb-Drähte in ca. 30 cm Entfernung voneinander und von der Drehachse der Maschine gespannt und deren Schattenbild auf dem Bariumplatincyanürschirm unmittelbar hinter dem zweiten Faden beobachtet. Nur wenn beide Schattenbilder bei beliebiger Röhrenstellung immer zusammenfielen, lag die Emissionsstelle der X-Strahlen in jener Achse.

Einstellen der Drehachse in die Achse des Rohres N. Die horizontale Achse der Zentrifugalmaschine und die horizontale Achse des Rohres N mußten zusammenfallen: in erster Annäherung wurde dies durch Visieren erreicht, eine exakte Einstellung ermöglichten die beiden Pb-Fadenkreuze F_1 und F_2, deren Schattenprojektionen sich decken mußten und zwar bei jeder Lage der Röhrenachse.

Einstellen des Radiators. Auch dies erfolgte durch Schattenprojektion auf den Fluoreszenzschirm. Der eingestellte Radiator ergab auf dem Schirm ein Bild, das an eine ringförmige Sonnenfinsternis erinnert, die dunkle Projektion der Kugel, konzentrisch umsäumt von einem hellen Ringe.

Damit war die Einstellung beendet: Die X-Achse, die oben als Achse des den Radiator treffenden X-Strahlenbündels definiert wurde, fiel mit der Achse des Rohres N zusammen. Die Kathodenstrahlen verliefen bei jeder Stellung der Röhre senkrecht zur X-Achse und trafen die Antikathode im Koordinatenursprung, von dem aus die Z-Achse vertikal nach oben ging.

Die Stellung bei 0° oder die Nullstellung der Röhre heiße die Lage, bei der die Achse der Kathoden-

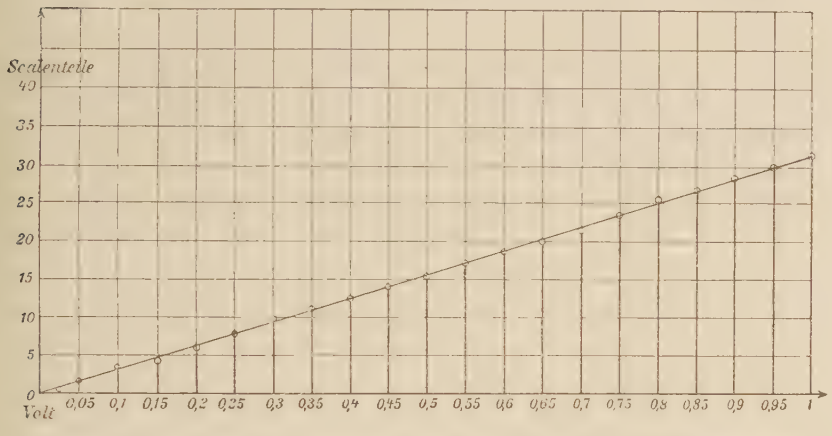
strahlen in der (vertikalen) X-Z-Ebene liegt und diese von unten nach oben gehen.

Die Entfernung Antikathode–Mittelpunkt des Radiators betrug 50 cm.

4. Gang des Versuches.

10. Die beiden Kondensatorplatten C_1 und C_2 wurden durch die Wippe W_1 gleichzeitig mit dem Elektrometer verbunden. Wären die X-Strahlen nicht polarisiert, so müßte bei jeder Röhrenstellung die vom zentrierten Radiator ausgehende Strahlung nach oben und nach der Seite hin die Luft in gleicher Weise ionisieren, so daß die $\pm$ Platten C_1 und C_2 — gleiche Kapazität und gleichen Abstand vorausgesetzt — entgegengesetzt gleiche Ladungen erhielten; diese würden sich völlig neutralisieren, so daß das Al-Blättchen des Elektrometers in Ruhe bleiben würde. Dies trat auch in der Tat ein, sowie die Achse der Kathodenstrahlen um 45° aus der X-Z-Ebene herausgedreht wurde. Wurde die Achse der Kathodenstrahlen in die X-Y-Ebene gebracht, so wurden die vom Radiator ausgehenden Sekundärstrahlen, die nach oben gingen, intensiver, die Kondensatorplatte C_1 empfing in derselben Zeit mehr positive Ladung als die seitliche Kondensatorplatte C_2 negative, und das Elektrometer zeigte den Überschuß an positiver Ladung an. Wurde die Achse der Kathodenstrahlen in die X-Z-Ebene gebracht, so war die seitliche Sekundärstrahlung intensiver, das Elektrometer zeigte einen Überschuß an negativer Ladung an. Wurde die Röhre um 180° gedreht, so war der Effekt derselbe, wie in der Stellung bei 0°; bei 270° war wieder die Wirkung wie bei 90°. Bei 45°, 135°, 225° und 315° blieb das Blättchen des Elektrometers in Ruhe. Wurde das Potential der Gitter kommutiert, so blieb das Blättchen des Elektrometers wieder bei den Röhrenstellungen 45°, 135°, 225° und 315° in Ruhe; bei den Stellungen 90° und 270° zeigte seine Bewegung eine negative, bei 180° und 360° positive Ladung des Elektrometers an, somit dieselben Maxima und Minima der Strahlung. Bei allen Versuchen wurde die Röhre in alle acht, immer um 45° voneinander verschiedenen Stellungen gebracht. Exponiert wurde immer gleich

lang, in der Regel 2 Min. Die primäre Induktorstromstärke wurde konstant auf 3 Amp. gehalten. Die Empfindlichkeit des Elektrometers war 30 Skt. für 1,1 Volt (Daniellelement). Aus der graphischen Darstellung 1 ist zu ersehen, daß Potentialdifferenz und Ausschlag des Aluminiumblättchens bis zu 30 Skt. genügend proportional waren. Entgegengesetzt gleiches Potential bewirkte gleich viele Skalenteile Ausschlag nach entgegengesetzter Seite.



Graph. Darstellung 1. Eichung des Hankelschen Elektroskopes.

Nachdem erst alles, wie oben beschrieben, eingerichtet und eingestellt war, gingen die Versuche, ohne auch nur einmal zu versagen. Die Polarisationswirkung blieb dann und nur dann aus, wenn die X-Strahlenröhre aus irgend einem Grunde einmal zu hart geworden war. Die Röhre wurde durch häufiges Regenerieren im allgemeinen immer in mittelweichem Zustand (parallel geschaltete Funkenstrecke des Induktors 8—12 cm) gehalten, so daß das Bild der Hand auf dem Fluoreszenzschirm sehr kontrastreich war. So lang wie möglich wurde mit derselben Röhre gearbeitet, wenn nicht besondere Untersuchungen die Verwendung von verschiedenen Röhren nötig machten.

11. Der Verlauf der *ersten Versuche* ist aus folgender Tabelle zu ersehen, in deren erster Vertikalreihe der Drehwinkel der Röhrenstellung angegeben ist, der — vom Radiator

aus gesehen — entgegengesetzt dem Sinne der Uhrzeigerbewegung gezählt ist. Die anderen Vertikalreihen enthalten die am Elektrometer abgelesenen Ausschläge (in Skalenteilen), wie sie die einzelnen Versuchsreihen lieferten. Es sei daran erinnert, daß als Röhrenstellung von 0° die bezeichnet wurde, bei der die Kathodenstrahlen von unten nach oben in vertikaler Richtung gehen sowie daran, daß das obere horizontale Gitter auf + 100 Volt geladen war. Die Exposition dauerte hier 1 Min. Der Radiator war die Paraffinkugel.

Radiator: Paraffin. Exposition: 1 Min.

Röhrenstellung		Versuchsreihe I	Versuchsreihe II	Versuchsreihe III	
vertikal	0°	− 6,5	−12,0	−10,0	negativ
	45°	0	− 2,1	− 0,5	
horizontal	90°	+11,5	+ 6,8	+ 7,5	positiv
	135°	− 1,2	+ 0,2	− 0,5	
vertikal	180°	−11,6	−10,1	−10,1	negativ
	225°	+ 1,1	− 1,2	+ 0,2	
horizontal	270°	+14,5	+ 6,0	+11,9	positiv
	315°	+ 2,0	+ 0,2	+ 0,3	
	360° [1])				

Diese drei Versuchsreihen folgten nicht unmittelbar hintereinander, sondern wurden innerhalb zweier Tage gemacht. — Die Wirkung der Polarisation zeigt sich sehr deutlich in dem Wechsel des Vorzeichens beim Übergang von der Vertikalstellung zur Horizontalstellung der Röhre und umgekehrt. Andererseits ist ersichtlich, daß bei diesen

1) Bezüglich der Rückkehr zur Ausgangsstellung ist zu bemerken, daß dieser Versuch nur im Anfang der Untersuchung und später bei der Messung der Polarisation in Prozenten gemacht wurde; für gewöhnlich aber, um die Röhre zu schonen, unterblieb. Außerdem wurden zwar bei allen acht bzw. neun Winkeln die Beobachtungen gemacht, aber nicht immer gerade von der Nullstellung ausgingen.

ersten Versuchen die Ausschläge in den Vertikal- und Horizontalstellungen noch nicht entgegengesetzt gleich waren. Auch kommen die Werte in den vier 45°-Stellungen der Null nicht in gleicher Weise nahe.

5. Beseitigung der Fehlerquellen.

12. Die eben angegebenen Resultate lassen erkennen, daß die erhaltenen Werte noch stark von Fehlerquellen beeinflußt sind. Als solche ließen sich folgende Erscheinungen finden: Es zeigte sich, daß die Emissionsstelle der X-Strahlen auf der Antikathode wandert; wenn die Röhre hart ist, entstehen die X-Strahlen auf einem anderen Punkt als bei weicher Röhre; außerdem hängt die Lage der Emissionsstelle von der jeweiligen Röhrenstellung ab; wahrscheinlich ändert sich beim Drehen der Röhre ihre Kapazität infolge der Nähe des Bleikastens.[1]) — Die Einstellung der Emissionsstelle in die Drehachse war bisher mittels Fernrohr, wie früher angegeben, ausgeführt worden; nun wurde zu der verbesserten Einstellung mittels Projektion der Fadenkreuze übergegangen. Daß aber bei konstanter Röhrenhärte die Fadenkreuze in allen Röhrenstellungen absolut genau zur Deckung kommen, ist schlechterdings nicht zu erreichen[2]); indessen ist die Abweichung nie so groß, daß etwa die beiden Schattenprojektionen getrennt zu sehen wären. Von einer ungleichmäßigen Bestrahlung des Radiators kann aber schon deshalb keine Rede sein, weil ja in der Nähe des Radiators das primäre Strahlenbündel einen größeren Querschnittsdurchmesser hat als die Kugel. Es könnte also nur die Luftschicht um den Radiator herum ungleichmäßig bestrahlt werden — im schlimmsten Fall bestände 1 mm Ungleichheit der Bestrahlung —, allein die Sekundärstrahlung der Luft ist so schwach, daß sie gegenüber der außerordentlich intensiven Strahlung des Paraffins vernachlässigt werden

1) Bezüglich einer möglichen Ablenkung der Kathodenstrahlen durch den Elektromagneten des Induktors ist zu bemerken, daß der Induktor hinlänglich entfernt stand.

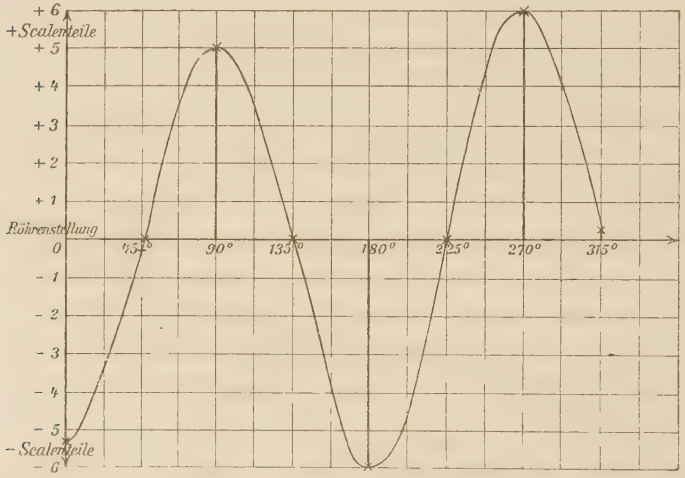
2) Wohl wegen der eben erwähnten Kapazitätsänderung und einer damit verbundenen — minimalen — Härteänderung.

kann. — Des weiteren wurde direkt auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge bei vertikaler und horizontaler Röhrenstellung eingestellt, was sich durch Annäherung oder Entfernen des vertikalen seitlichen Gitters, bezogen auf die Kondensatorplatte C_2, erreichen ließ. Ursprünglich war ja der Abstand des seitlichen Gitters von seiner Platte derselbe wie beim oberen System; warum diese — übrigens minimalen (1 mm) — Verschiebungen nötig waren, wird später angegeben werden.

13. Fundamentalversuch. Nach diesen Maßnahmen wurde folgendes Resultat erhalten, das auch aus der graphischen Darstellung 2 zu ersehen ist:

Radiator: Paraffin. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−5,3	−0,3	+5,0	0,0	−6,0	−0,1	+5,9	+0,2



Graph. Darstellung 2. Nachweis der Polarisation.
Radiator: Paraffinkugel. Exposition: 2 Min. (Fundamentalversuch).

Hier war die primäre Stromstärke etwas schwächer als sonst; ein völliges Gleichwerden der Zahlenwerte mit entgegengesetztem Vorzeichen ist natürlich unmöglich, hauptsächlich infolge der Änderung der Röhrenhärte. Diese Art von Versuch galt als Fundamentalversuch. Vor jeder neuen

Messung wurde erst dieser Versuch wiederholt (auch bei verschiedenen Expositionszeiten); in gleicher Weise wurde jede Änderung der Versuchsanordnung an ihm erprobt.[1])

14. Kontrollversuche. Um zu entscheiden, ob die beobachteten Erscheinungen tatsächlich von einer Polarisation der X-Strahlen herrührten oder von irgendwelchen Zufälligkeiten, wurden folgende Versuche gemacht:

Der Sekundärstrom des Induktors wurde nun auch einmal in verkehrter Richtung durch die X-Strahlenröhre geschickt; dann blieb das Blättchen des Elektrometers in Ruhe; eine elektrostatische Störung konnte also die Polarisation nicht vorgetäuscht haben.

Der Induktor wurde allein, ohne X-Strahlenröhre mit 40 cm Funkenstrecke betrieben; es zeigte sich, daß er keine Wirkung auf das Elektrometer ausübte.

Dann wurden die X-Strahlen vor ihrem Eintritt in den Bleikasten durch eine 4 mm starke Zn-Platte geschickt. Jetzt blieb das Blättchen in Ruhe. Damit war bewiesen, daß nicht etwa primäre Strahlen, die durch die beiden Pb-Schirme hindurchgingen, das Elektroskop direkt trafen und durch Ionisation der Luft dem Blättchen zu einer Ladung verhalfen.

Wurde die Paraffinkugel entfernt, so daß der Radiator also Luft war, so war die Bewegung des Blättchens nur äußerst gering.

Wurde zwischen die Paraffinkugel und dem oberen Gitter ein Pb-Blech eingeschaltet, das selbst nicht von Primärstrahlen getroffen wurde, und gleichzeitig die seitliche Kondensatorplatte vom Elektrometer losgetrennt und geerdet, so blieb das Elektroskopblättchen ebenfalls in Ruhe.

Von einer Anordnung, welche die an der Wandung der X-Strahlenröhre entstehenden schwachen Primärstrahlen ausschloß, wird unten die Rede sein.

15. Astigmatismus. Ebenso wie Lichtstrahlen, die von einer nicht sphärischen Fläche ausgehen, ein astigmatisches

---

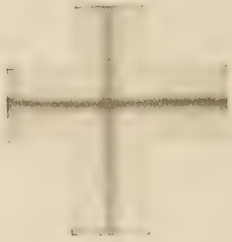
1) Wiederholt wurde die Gitterladung kommutiert; in den vier Hauptstellungen der Röhre waren dann die Ausschläge am Elektrometer die gleichen, nur von entgegengesetzter Richtung; in den vier 45°-Stellungen gleich Null. Also waren Maxima und Minima dieselben.

Strahlenbündel bilden, zeigen auch X-Strahlen eine ganz analoge Erscheinung: Das Kathodenstrahlenbündel zeigt senkrecht zu seiner Achse einen nahezu kreisförmigen Querschnitt. Die Ebene der Antikathode aber liegt (bei den benutzten Röhren) unter einem Winkel von 45° gegen diese Achse. Der Schnitt des Kathodenstrahlenbündels mit der Antikathodenfläche ist somit eine Ellipse. Die große Achse jener Ellipse liegt in der Einfallsebene, wenn man analog

Photogramm 1.

Photogramm 2.

Photogramm 3.



Photogramm 4.

der in der Optik üblichen Bezeichnungsweise so die Ebene nennt, die durch die Normale zur Antikathodenfläche und durch die Achse der Kathodenstrahlen geht. Daß ein X-Strahlenbündel im allgemeinen nach jenen Achsen der Ellipse astigmatisch ist, zeigt folgender Versuch: Ein Fadenkreuz aus Pb-Draht wurde so aufgestellt, daß die Fäden horizontal und vertikal zu liegen kamen. Der Schnittpunkt der Fäden und die Mitte der Antikathode lagen auf einer horizontalen Geraden, 30 cm voneinander entfernt. 40 cm

hinter dem Fadenkreuz befand sich eine photographische Platte.[1]) Die Röhre wurde so gestellt, daß die Einfallsebene einmal durch den vertikalen (Versuch 1 und 3), dann durch den horizontalen (Versuch 2 und 4) Pb-Draht ging. Unmittelbar vor der Röhre befand sich ein Pb-Schirm mit einem kleinen, runden, entsprechend angebrachten Loch. Der Winkel zwischen den Kathodenstrahlen und dem benutzten X-Strahlenbündel wurde variiert. Es ergab sich folgendes:

1. Einfallsebene vertikal; Winkel zwischen Kathoden- und X-Strahlen 90°. Resultat: horizontaler und vertikaler Pb-Draht gleich scharf (Photogramm 1).

2. Einfallsebene horizontal; Winkel zwischen Kathoden- und X-Strahlen 90°. Resultat: horizontaler und vertikaler Pb-Draht gleich scharf (Photogramm 2).

3. Einfallsebene vertikal; X-Strahlen senkrecht zur Antikathode. Resultat: horizontaler Pb-Draht unscharf und verwaschen (Photogramm 3).

4. Einfallsebene horizontal; X-Strahlen senkrecht zur Antikathode. Resultat: vertikaler Pb-Draht unscharf und verwaschen (Photogramm 4).

Da bei den Versuchen über Polarisation der X-Strahlen stets ein primäres Bündel zur Verwendung kommt, das mit den Kathodenstrahlen einen Winkel von 90° einschließt, muß der eventuelle Einwand bezüglich des astigmatischen Strahlenbündels fallen.[2])

6. Versuche mit festen, flüssigen und gasförmigen Radiatoren.

16. Nachdem dies festgestellt war, wurde dazu übergegangen, die Polarisation auch mittels *anderer Radiatoren*

---

1) Die längere Seite der rechteckigen photographischen Platte stand stets vertikal. — Bei allen Versuchen war die Plattenebene stets senkrecht zu den X-Strahlen gestellt.

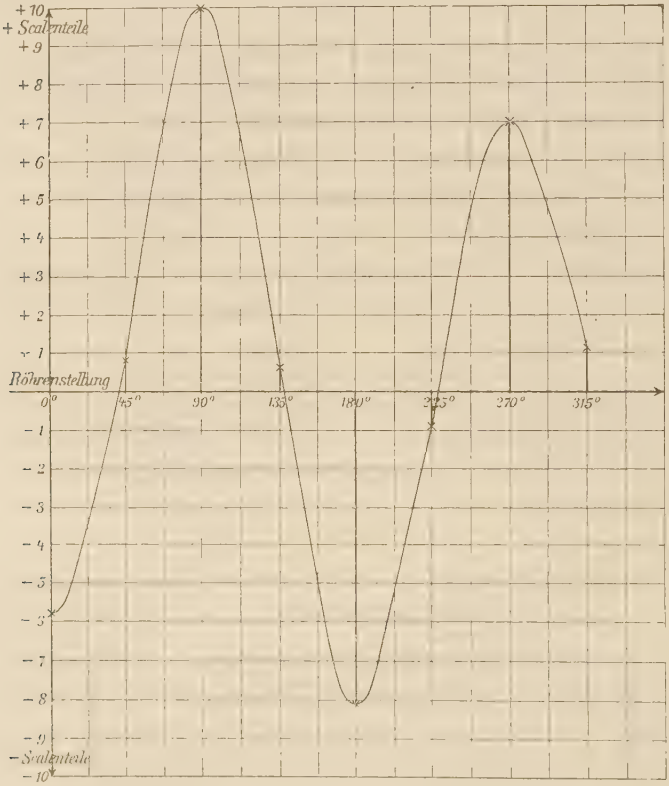
2) Daß die Polarisation auch nicht durch eine etwa bestehende keilförmige Dicke der Glaswand der X-Strahlenröhre an der Stelle, wo die X-Strahlen die Glaswand durchdringen, vorgetäuscht wird, wird später (§ 66) — bei verbesserter Versuchsanordnung — gezeigt werden.

nachzuweisen; zunächst einmal an einigen Substanzen, die bereits von Barkla untersucht sind.

Gewöhnlicher Stangenschwefel wurde geschmolzen und in einer Kugelform langsam zum Erstarren gebracht; die Kugel wurde dann auf die Dimension der Paraffinkugel abgedreht. Mit ihr wurde folgendes Resultat erhalten (graphische Darstellung 3):

Radiator: Schwefel. Exposition: 3 Min.

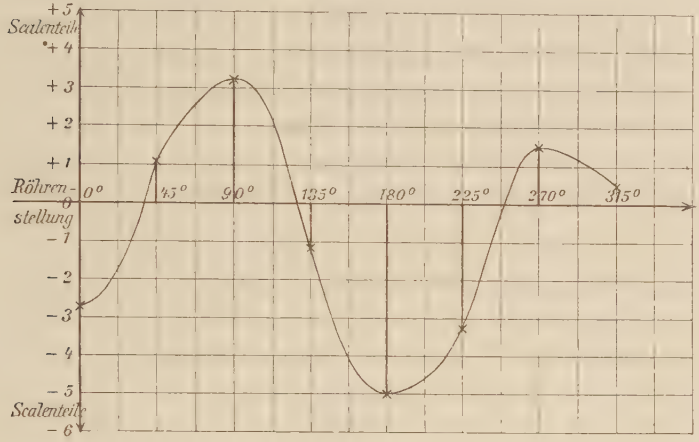
Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−5,8	+0,8	+10,0	+0,6	−8,1	−0,9	+7,0	+1,1



Graph. Darstellung 3. Nachweis der Polarisation.
Radiator: Schwefelkugel. Exposition: 3 Min.

Bei diesen Versuchen mit der Schwefelkugel war die Empfindlichkeit des Elektrometers etwas erhöht. Hier war

nicht auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge, wie beim Versuch mit Paraffin, sondern auf den Wert Null in den vier 45°-Stellungen eingestellt; Expositionszeit war 3 Min.



Graph. Darstellung 4. Nachweis der Polarisation.
Radiator: Aluminiumkugel. Exposition: 2 Min.

Dann wurden die Versuche mit einer Al-Kugel gemacht; um eine möglichst homogene Kugel zu erhalten, wurde der Guß in einer Gießerei ausgeführt. Sehr viele Versuche waren nötig, um mit jener Kugel die Polarisation nur einigermaßen so regelmäßig nachweisen zu können wie mit der Paraffinkugel. Der typische Verlauf jener ersten Versuchsreihen ist aus der graphischen Darstellung 4 zu ersehen.

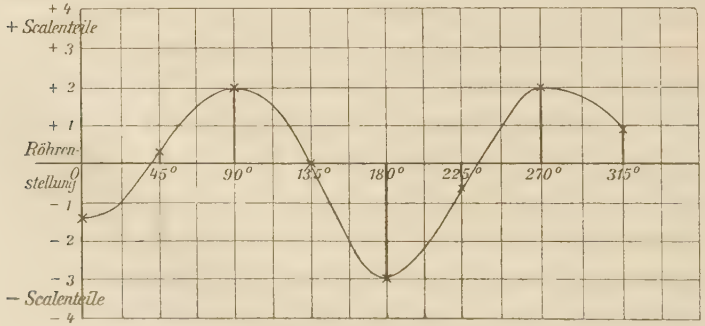
17. Die Versuche mit der Aluminiumkugel waren die Veranlassung, in den Gang der Primärstrahlen die Blende *D* einzusetzen. Ursprünglich war nämlich das Primärstrahlenbündel durch die Öffnung *B* bestimmt. Als es sich dann zeigte, daß die Emissionsstelle der X-Strahlen wandert, war klar, daß die Luft um den Radiator herum trotz aller Zentrierung ungleichmäßig bestrahlt wurde. Wie oben erwähnt, konnte dies bei der sehr intensiven Sekundärstrahlung des Paraffins vernachlässigt werden, nicht dagegen bei der sehr schwachen Sekundärstrahlung des Al. Deshalb wurde der Durchmesser der Öffnung *B* auf 4 cm vergrößert und der Querschnitt des Primär-

strahlenbündels erst unmittelbar vor dem Radiator wieder verkleinert durch das Diaphragma *D*. Dadurch war erreicht, daß auch bei einer Wanderung der Emissionsstelle die Luft um den Radiator herum in gleicher Dicke bestrahlt wurde.

18. Barkla gibt an, er habe mit Al die besten Resultate erzielt; seine Radiatoren hatten stets die Form von Platten oder Blechen. Deshalb wurde ein Versuch gemacht mit einer runden Al-Scheibe (Dicke 2 mm), die senkrecht gegen die Achse der Primärstrahlen gestellt wurde. Doch ließ sich damit kein besseres Resultat erreichen. Die Al-Scheibe wurde auch parallel zu sich selbst so weit nach vorne oder rückwärts geschoben, daß nur die an der Rückseite bzw. Vorderseite entstehenden Sekundärstrahlen die Kondensatoren treffen konnten; auch dies hatte keine wesentliche Änderung zur Folge. Mittlerweile mußte die X-Strahlenröhre durch eine neue ersetzt werden, die auch nicht bessere Resultate lieferte. Ob die Ursache, daß Barkla seine besten Resultate mit Al erhielt, in der chemischen Reinheit der Substanz lag, mag dahingestellt bleiben. Paraffin hat Barkla nicht untersucht. Zwei besonders glücklich verlaufene Versuche mögen hier noch angegeben werden: der eine mit der Al-Scheibe, deren Ebene die Mitte der Kondensatoren traf, der andere mit der Aluminiumkugel:

1. Radiator: Aluminiumscheibe. Exposition: 2 Min. (graph. Darst. 5).

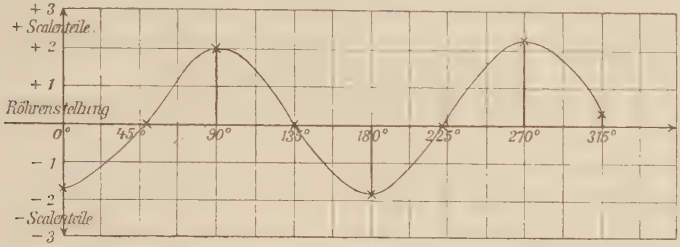
Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−1,4	+0,3	+2,0	−0,1	−3,0	−0,7	+2,0	+0,8



Graph. Darstellung 5. Nachweis der Polarisation.
Radiator: Aluminiumscheibe. Exposition: 2 Min.

2. Radiator: Aluminiumkugel. Exposition 3 Min., weil der Voltohmunterbrecher statt des Turbinenunterbrechers benutzt werden mußte (graph. Darst. 6).

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−1,7	−0,2	+2,0	0,0	−1,8	+0,2	+2,2	+0,3



Graph. Darstellung 6. Nachweis der Polarisation. Radiator: Aluminiumkugel. Exposition: 2 Min.

Von all den zahlreichen Versuchen mit Al ist dies der beste.

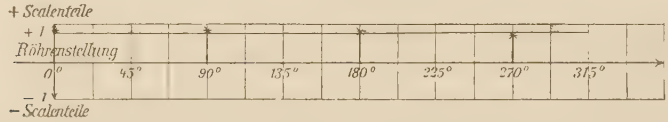
19. An den Körpern mit hohem Atomgewicht soll sich die Polarisation der X-Strahlen nicht nachweisen lassen. In der vorliegenden Arbeit wurde von den Schwermetallen nur das *Pb* untersucht. Die benutzte Pb-Kugel war in einer Gießerei hergestellt und dann wie die anderen Radiatoren auf den Durchmesser von 6 cm abgedreht. Damit ließ sich eine Polarisation nicht nachweisen, wie die graphische Darstellung 7 zeigt.

Graph. Darstellung 7. Polarisation mit Pb nicht nachweisbar. Radiator: Bleikugel. Exposition: 2 Min.

Auffallend war, daß die Intensität der Sekundärstrahlung der Paraffinkugel mindestens gleich, wenn nicht größer war als die der Pb-Kugel, was sich durch unmittelbare Beobachtung der Sekundärstrahlen auf den Fluoreszenzschirm oder am Elektroskop erkennen ließ, während doch die Intensität der Sekundärstrahlen proportional dem Atom-

gewicht[1]) des Radiators ist. Indessen zeigten spätere Versuche, daß ein sehr großer Teil der Sekundärstrahlen des Paraffins aus dem Innern kommt, d. h. die Absorption des Paraffins für vom Paraffin ausgehende Strahlen sehr gering ist. Bei der Pb-Kugel dagegen entstehen nur an der Oberfläche Sekundärstrahlen, weil die Primärstrahlen nur in geringe Tiefe eindringen, die dort entstehenden Sekundärstrahlen aber wohl kaum die Kugeloberfläche erreichen.

Der Vollständigkeit halber wurde auch ein Versuch mit einer 0,28 mm dicken Scheibe aus gewalztem Pb angestellt; dabei wurden — wie früher beim Al — der Scheibe auch verschiedene Stellungen gegeben, ohne auch nur die leiseste Andeutung einer Polarisation zu erhalten; graphische Darstellung 8.



Graph. Darstellung 8. Polarisation mit Pb nicht nachweisbar. Radiator: Bleischeibe. Exposition: 2 Min.

NB. Die Versuche mit Pb sprechen gegen die Vermutung, daß die bei Paraffin beobachteten Erscheinungen etwa durch Asymmetrie der Bestrahlung vorgetäuscht wurden.

20. Potential des Radiators. Infolge Aussendung sekundärer Kathodenstrahlen wird ein Radiator positive elektrische Ladung besitzen. Folgende Versuche sollten entscheiden, ob vielleicht ein Einfluß eines solchen Radiatorpotentiales auf die Polarisation vorhanden ist.

1. Die Paraffinkugel wurde mit Stanniol überzogen und dieses geerdet. Die Sekundärstrahlung wurde dadurch schwächer, die Polarisation dadurch nicht zum Verschwinden gebracht.[2])

1) A. Roiti, Atti R. Acc. dei Lincei (5) 7. p. 87—91. 1898.

2) Ein ganz analoger Versuch mit Paraffinum liquidum in einer versilberten zur Erde abgeleiteten Glaskugel ergab ein ähnliches Resultat. Wegen der etwas modifizierten Versuchsanordnung ist dieser Versuch im Zusammenhang mit den flüssigen Radiatoren angeführt.

2. Die Pb-Kugel wurde auf eine Ebonitplatte gestellt und so vom Boden des Bleikastens isoliert. Dadurch wurde die Polarisation nicht hervorgerufen; auch nicht, wenn der Radiator durch eine geriebene Siegellackstange elektrisiert wurde; auch nicht, wenn er geerdet war.

3. Analoge Versuche mit der Al-Kugel brachten die Polarisation nicht zum Verschwinden.

21. Luft als Radiator. An Luft ließ sich die Polarisation nur äußerst schwach nachweisen. Bei 2 Min. Expositionszeit wurde folgendes Resultat erhalten:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−1,4	+0,6	−0,1	+0,1

Wenn als Radiator die Pb-Kugel dient, kann sich natürlich die Polarisation der Luft, die ja stets Sekundärstrahlen entsendet, nicht zeigen, weil der Metallradiator ein relativ großes Quantum Luft verdrängt hat und die Sekundärstrahlung der Luft sehr schwach ist, die des Pb dagegen intensiv.

22. Pb-Kugel mit Paraffin überzogen. Vorversuche ergaben, daß man mit der Pb-Kugel, die an und für sich keine Polarisation zeigt, die Polarisation ganz gut nachweisen kann, sowie man die Kugel mit Paraffin überzieht. Die Paraffinschicht war dabei 2,5 mm stark. Die Pb-Kugel wurde dann vom Paraffin mittels Benzin gereinigt und durch Eintauchen in geschmolzenes Paraffin eine neue Schicht hergestellt, die, abgesehen von der untersten Stelle, überall gleichmäßig dick (0,5 mm) war. Damit wurde folgendes Versuchsresultat erhalten.

Radiator: Paraffinierte Pb-Kugel. Exposition: 4 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−3,5	−0,1	+0,7	+0,2	−1,4	+0,3	+2,5	−0,2

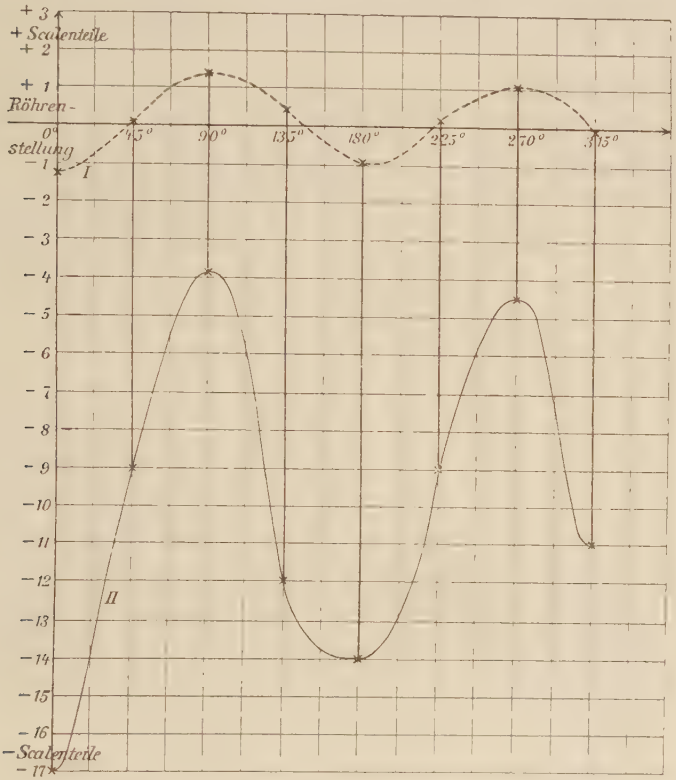
Eingestellt war auf Null in den vier 45°-Stellungen; die Expositionszeit betrug 4 Min. Die Polarisation ist, wenn auch schwach, doch unzweifelhaft zu erkennen.

23. Da das Paraffin die besten Resultate lieferte, lag es nahe, Substanzen zu untersuchen, die dem Paraffin der chemischen Natur nach sehr nahe stehen. Da Paraffin aus

einem Gemenge gesättigter Kohlenwasserstoffe von der Formel C_nH_{2n+2} besteht, wurden einige Substanzen untersucht, die sich ebenfalls aus einem Gemenge von aufeinanderfolgenden Gliedern jener Kohlenwasserstoffreihe zusammensetzen, nämlich Paraffinum liquidum, Petroleum, Benzin und Petroläther Die Versuche mit diesen flüssigen Substanzen erfordern als Radiator eine genau gearbeitete, überall gleich dicke Hohlkugel, die selbst möglichst schwache Sekundärstrahlen emittieren, dagegen für die von den Flüssigkeiten ausgehenden Sekundärstrahlen möglichst durchlässig sein soll. Aus Al, das sich hierzu wohl am besten eignen würde, war eine solche Kugel nicht zu erhalten; deshalb wurde eine (bleifreie) Glaskugel genommen. Die gleichmäßigste Wandstärke hatten die im großen hergestellten käuflichen Rundkolben (Durchmesser $\simeq 6$ cm). Ein solcher Kolben wurde mit dem Halse nach unten über einem tiefen Becherglas, das ganz mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt war, befestigt. Im Becherglas befand sich ein zweimal rechtwinklig gebogenes Glasrohr, das im Bedarfsfall so weit gehoben wurde, bis der eine Schenkel den obersten Punkt im Innern des Kolbens erreichte. Die Versuche waren so gedacht, daß der zentrierte Kolben nach Belieben mit der Flüssigkeit oder mit Luft gefüllt werden konnte, ohne Änderung seiner Stellung. Durch die Glasröhre wurde entweder die Luft im Kolben abgesaugt, so daß die Flüssigkeit nachstieg, oder Luft eingeblasen, die die Flüssigkeit heraustrieb. Das Ganze war so disponiert, daß nur die Kugel des Kolbens und ein kleines Stück des nach unten gerichteten Halses von Primärstrahlen getroffen werden konnte. Während des Versuches war das erwähnte Glasrohr aus dem Innern des Kolbens entfernt.

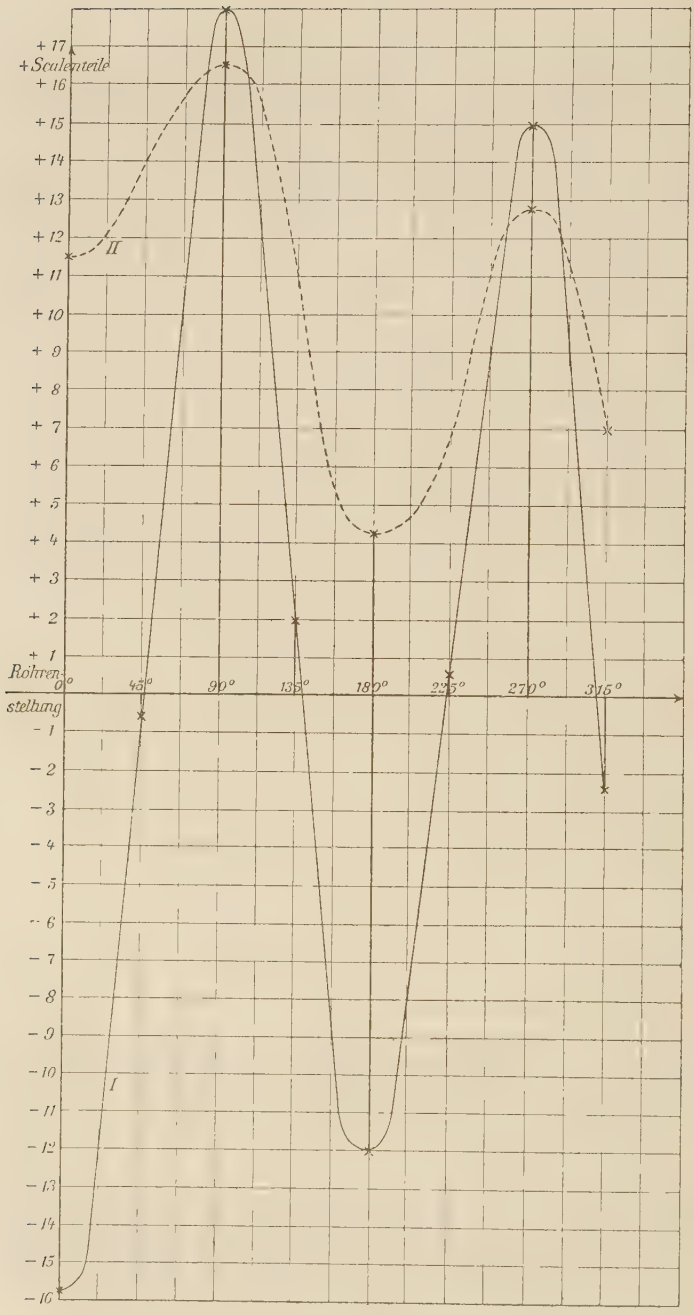
Zunächst kam *Petroleum* zur Verwendung. Die Ausführung des Versuches war folgende. Eingestellt wurde auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge, wenn der Kolben mit Luft gefüllt war; dann wurde das Petroleum eingesaugt und die Polarisation beobachtet; schließlich wurde wieder Luft eingeblasen und die Einstellung kontrolliert, wobei zu beachten war, daß an der Innenwand der Glaskugel noch Petroleum haftete. Oder es wurde in umgekehrter Reihenfolge eingestellt mit Petroleum, dann das Petroleum durch Luft ersetzt, dann nochmal Petro-

leum eingesaugt. Leider zeigte es sich, daß, wenn mit Luft auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge eingestellt war, die Einstellung für Petroleum nicht im geringsten stimmte, und umgekehrt, wenn mit Petroleum eingestellt war, die des Glaskolbens mit Luft nicht mehr stimmte, wie aus den graphischen



Graph. Darstellung 9. Nachweis der Polarisation.
Radiator I: Glaskugel mit Luft. Radiator II: Glaskugel mit Petroleum. Exposition: 2 Min. NB.! Eingestellt auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge bei Radiator I.

Darstellungen 9 und 10 zu ersehen ist. Dies hatte seinen Grund in der dennoch allzu ungleichmäßigen Dicke der Glaskugel, die nachgewiesen werden konnte. Immerhin erwiesen die Versuche, daß Petroleum zum Nachweis der Polarisation noch wirksamer ist als Paraffin. Der mit Luft gefüllte



Graph. Darstellung 10. **Nachweis der Polarisation.**
Radiator I: Glaskugel mit Petroleum. Radiator II: Glaskugel mit Luft (von Petroleum benetzt). Exposition: 2 Min. NB.! Eingestellt auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge bei Radiator I.

eingestellte Glaskolben ergab bei einer Expositionszeit von 2 Min. folgende Werte:

Radiator: Rundkolben mit Luft. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−1,2	+0,1	+1,4	+0,4	−0,9	+0,2	+1,1	−0,1

während der mit Petroleum gefüllte, eingestellte Radiator unter genau denselben äußeren Bedingungen folgende Werte ergab:

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−15,8	−0,6	+18,0	+2,0	−12,0	+0,6	+15,0	+2,4

Außer Petroleum wurden noch folgende, ebenfalls der Gruppe der ungesättigten Kohlenwasserstoffe angehörende Substanzen untersucht:

Paraffinum liquidum ergab unter denselben Bedingungen:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−6,2	+6,1	−6,6	+7,0

Dann wurde der Glaskolben versilbert und geerdet und der Versuch mit Paraffinum liquidum wiederholt[1]):

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−1,8	+0,1	+2,1	−0,3	−3,6	−0,1	+2,1	0,0

Hierbei wurde statt 2 Min. 3 Min. exponiert. Polarisation ist erkennbar.

Benzin unter denselben Bedingungen wie Petroleum:

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−13,5	−0,9	+8,0	−3,0	−12,8	+0,3	+11,3	−0,1

Petroläther unter denselben Bedingungen:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−7,0	+5,8	−5,2	+5,6

Zum Vergleich möge ein Versuch mit der Paraffinkugel folgen:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−12,7	+11,5	−10,3	+12,4

1) Dies geschah, um den Einfluß des Radiatorpotentiales zu untersuchen, analog dem Versuch mit der mit Stanniol überzogenen, geerdeten Paraffinkugel. Der Versuch ist nur wegen der etwas modifizierten Versuchsanordnung im Zusammenhang mit den flüssigen Radiatoren hier angeführt.

Auch mit einem gasförmigen Körper jener Gruppe wurde der Versuch gemacht, nämlich mit Methan CH_4, das durch Einwirken von H_2O auf Al_4C_3 hergestellt wurde. Jedoch unterschied sich jetzt die Strahlung von der des mit Luft gefüllten Radiators viel zu wenig, als daß darüber mit Sicherheit etwas ausgesagt werden könnte.

Die Versuche mit den flüssigen gesättigten Kohlenwasserstoffen gingen aufs erstemal und ohne weitere Schwierigkeiten.

24. Da flüssige Radiatoren leicht herzustellen waren und außerdem den Vorteil absoluter Homogenität boten, kamen dann auch *andere Flüssigkeiten* zur Untersuchung, die ihrer chemischen Natur nach ganz verschieden waren. Die Bedingungen waren überall dieselben wie beim Petroleumversuch. Nach jedem Versuch wurde die Glaskugel sorgfältigst gereinigt.

1. Destilliertes Wasser H_2O:

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−7,3	+0,1	+6,2	−0,6	−9,5	−0,5	+7,7	−0,6

2. Schwefelkohlenstoff CS_2:

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−3,3	+0,1	+2,8	+0,1	−3,5	0,0	+3,2	+0,4

3. Äthylalkohol C_2H_6O (99 proz.):

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−11,1	+8,8	−10,7	+6,5

4. Glyzerin $C_3H_8O_3$:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−14,4	+5,2	−11,0	+5,1

Die Versuchsresultate von Äthylalkohol und Glyzerin weisen offenbar auf Einstellungsfehler hin; die entgegengesetzten Ausschläge sind sehr ungleich. Die Gittereinstellung war nämlich seit dem Petroleumversuch ungeändert; der Radiator wurde natürlich jedesmal zentriert.

5. Äthyläther $C_4H_{10}O$.

Bei diesem Versuche bildete sich während der Beobachtung an der obersten Stelle der Kugel eine Dampfblase.

Röhrenstellung:	270°[1])	180°	90°	0°
Skalenteile:	+8,0	−15,0	+8,1	−23,0

1) Die Versuche wurden in der angegebenen Folge der Röhrenstellungen ausgeführt.

Auch hier ist Ungleichheit der Einstellung zu erkennen, abgesehen von dem Fehler, den die Bildung der Dampfblase verursachte.

6. Benzol C_6H_6:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−19,0	+6,0	−19,0	+4,2

oder nachdem auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge eingestellt worden:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−13,0	+11,8	−9,2	+10,4

7. Nitrobenzol $C_6H_5NO_2$:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−5,7	+5,0	−5,6	+5,0

Diese Versuche hatten nicht den Zweck, die Polarisation zu messen, sondern wurden nur ausgeführt, um die Polarisation an einer Reihe von neuen Substanzen nachzuweisen; außerdem bestand die Absicht, einen Körper zu finden, der, noch wirksamer als das Paraffin, dann zur photographischen Untersuchung verwendet werden sollte.

25. Zusammenfassung. Offenbar vermögen die verschiedenen Substanzen die Polarisation nicht in gleicher Weise zu zeigen. Um darüber Bestimmtes aussagen zu können, müßte bei jedem Körper die Polarisation und gleichzeitig die Intensität der Sekundärstrahlung gemessen werden. In dem späteren Teil der vorliegenden Arbeit, der von der Messung der Polarisation handelt, ist dies auch tatsächlich so gemacht. Indessen lassen sich auch die Resultate der bisherigen Versuche in erster Annäherung aufeinander beziehen. Denn es sind die sämtlichen Versuche mit den flüssigen Radiatoren bei derselben Härte der Röhre, der gleichen primären Induktorstromstärke und Expositionszeit, sowie auch bei der gleichen Elektrometerempfindlichkeit — auch mit der gleichen X-Strahlenröhre — gemacht wie die letzten Versuche mit Al und Pb. Daß zum Vergleich auch der Versuch mit der Paraffinkugel wiederholt wurde, ist schon angegeben. Es fehlte nur die Schwefelkugel, die damals mit einer anderen Röhre und Elektrometerempfindlichkeit untersucht wurde, weshalb

der Schwefel nochmals untersucht und folgendes Resultat gefunden wurde:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−1,2	+2,8	−1,8	+2,3

Somit können die einzelnen benutzten Radiatorkugeln — nicht etwa die Substanzen im allgemeinen — in ihrer Wirkung, die Polarisation zu zeigen, wohl verglichen werden. Die in folgender Tabelle jedem Radiator beigesetzte Zahl gibt die Anzahl von entgegengesetzt gleichen Skalenteilen (Mittelwerte aus den vertikalen und horizontalen Röhrenstellungen) an, die infolge der Polarisation der betreffende Radiator ergeben hat, bei 2 Min. Exposition:

Radiatorkugel	Skalenteile
Blei	0,0
Luft	0,5
Glaskugel mit Luft	1,2
Aluminium	1,9
Schwefel	2,0
Schwefelkohlenstoff[1])	3,2
Nitrobenzol[1])	5,3
Petroläther[1])	5,9
Paraffinum liquidum[1])	6,5
Wasser (dest.)[1])	7,7
Glyzerin[1])	8,9
Äthylalkohol[1])	9,3
Benzol[1])	11,1
Benzin[1])	11,4
Äthyläther[1])	11,5
Paraffin	11,7
Petroleum[1])	15,2

Sämtliche Radiatoren hatten einen Durchmesser von 6 cm.

26. Harte und weiche Strahlen. Schließlich wurden noch Versuche gemacht, um den Einfluß der Röhrenhärte auf die Polarisation zu erfahren. Als Maßstab für die Röhrenhärte galt eine der X-Strahlenröhre parallel geschaltete Funkenstrecke, deren Länge bei jeder Röhrenhärte so zu bemessen war, daß die Entladung sich einteilte gleichzeitig in die Ent-

1) In der Glaskugel.

ladung durch die Funkenstrecke und in die Entladung durch die Röhre, wobei dann beide Partialentladungen kontinuierlich vor sich gingen. Am geringsten zeigte sich die Polarisation bei sehr harten Strahlen (20 cm parallele Funkenstrecke). Bei weicher oder mittelweicher Röhre (6—12 cm parallele Funkenstrecke) ließ sich die Polarisation am besten nachweisen.

Die exakte Messung der Polarisation und der Sekundärstrahlung wird später angegeben werden.

III.

Versuche, die Polarisation photographisch nachzuweisen.

Die Polarisation der X-Strahlen auch durch ihre Wirkung auf die photographische Platte nachzuweisen, wurde von Anfang an erstrebt. Immer wieder wurden derartige Versuche aufgenommen, nach verschiedenen Methoden: *stets mit negativem Resultat.*

27. Die ersten Versuche wurden mit Films gemacht, die vielleicht gleichmäßiger lichtempfindlich sind als photographische Platten. Auf einer horizontalen Achse, in deren Verlängerung die Emissionsstelle der primären X-Strahlen gebracht wurde — die Richtung der Kathodenstrahlen war wieder senkrecht zur X-Strahlenachse — befand sich als Radiator eine runde Aluminiumscheibe (Durchmesser 44 cm), vor dieser eine Holztrommel, auf die der Film gespannt wurde (Durchmesser 17 cm), und vor dieser eine runde Pb-Platte (Dicke 1,5 cm; Durchmesser 20 cm), um den Film vor Primärstrahlen zu schützen, natürlich alles zentriert. Der ganze Apparat kam in einen lichtdichten Kasten zu stehen. Der zur Achse senkrechte Querschnitt des Primärstrahlenbündels war kreisförmig; sein Durchmesser war dort, wo der Radiator sich befand, nur sehr wenig größer als dieser. Die Entfernung Antikathode—Pb-Platte maß 125 cm, so daß der Achsenwinkel der Primärstrahlen nur klein war. An einer Stelle war auf den Film

ein Pb-Draht gelegt; sein Schattenbild bewies, daß der Film auch tatsächlich durch Sekundärstrahlen geschwärzt worden war. Die Expositionszeit betrug bis zu 30 Min. Benutzt wurden die englischen „Ensign-Rollfilms“, außerdem „hochempfindliche Lumièrefilms“. Entwickelt wurde mit Metol–Adurol, später dann mit dem härter arbeitenden Hydrochinon. Sämtliche Films sind vollkommen gleichmäßig schwarz, ohne die leiseste Verschiedenheit zu zeigen.

28. Dann wurde die Versuchsanordnung derjenigen der elektrischen Versuche vollständig nachgebildet. Als Radiator diente die Paraffinkugel, die genau so wie dort bestrahlt wurde. Horizontal über dem Radiator befand sich eine photographische Platte, in gleicher Entfernung (7 cm), vertikal und parallel zur Achse der Primärstrahlen, eine zweite. Beide Platten wurden stets derselben Verpackung entnommen, und gleichzeitig und in einer Schale entwickelt. Vor Primärstrahlen waren die photographischen Platten durch die vorerwähnte 15 mm starke Pb-Platte geschützt, die in der Mitte mit einem runden Loch versehen wurde, so daß — wenn das ganze System zentriert war — nur gerade der Radiator von primären X-Strahlen getroffen wurde. Ein kleines Stück Pb-Blech, das auf die photographischen Platten gelegt wurde, sollte die Schwärzung durch Sekundärstrahlen erweisen. Die ganze Versuchsanordnung wurde in den lichtdichten Kasten eingesetzt. Statt der Paraffinkugel wurde auch einmal die S-Kugel oder die Al-Kugel genommen. Die Platten wurden photometrisch untersucht. Die Entwickelung geschah im vollständig finstern Raum mittels Hydrochinon. Meistens wurden die Versuche mit weichen bis mittelweichen Strahlen gemacht, einigemal aber auch mit harten. Plattensorte: „Hochempfindliche Perutztrockenplatte“, einmal auch „radiographische Lumièreplatte“; Expositionszeit: 15—60 Min. Das Resultat dieser Versuche war folgendes: Mit dem bloßen Auge betrachtet zeigte ein zusammengehöriges Plattenpaar kaum einen merklichen Schwärzungsunterschied; am Photometer war jedoch ersichtlich, daß bei keinem Plattenpaar beide Platten gleich schwarz waren; jedoch waren die Fälle, in denen diejenige Platte, die infolge der Polarisation die intensivere Sekundärstrahlung empfangen sollte, auch wirklich intensiver geschwärzt

war, ebenso häufig wie der umgekehrte Fall, bei dem diejenige Platte intensivere Schwärzung zeigte, auf die infolge der Polarisation die schwächere Sekundärstrahlung wirken sollte. Diese Versuche waren somit erfolglos.

29. Nun konnte es ja sein, daß der durch die Polarisation bewirkte Intensitätsunterschied der Sekundärstrahlung in jenen beiden Richtungen zu gering war, als daß eine Platte oder ein Film darauf hätte reagieren können. Es galt also zu untersuchen, welcher Intensitätsunterschied die *Empfindlichkeitsschwelle* überstieg. Zwei, derselben Verpackung entnommene Platten wurden, unter senkrechter Inzidenz stehend, von primären X-Strahlen getroffen.[1]) Die eine war von der Emissionsstelle der X-Strahlung 100 cm, die andere 102 cm entfernt. Da, wie Röntgen angegeben hat, auch bei dieser Strahlung die Intensität indirekt proportional dem Quadrat der Entfernung ist, so hat die Strahlung einen Intensitätsunterschied von $\simeq 4$ Proz., wenn sie die Platten trifft. Die photometrische Untersuchung ergibt, daß die Platte, die in größerem Abstand von der Antikathode stand, wirklich eine Nuance heller ist. Exposition: 5 Min.

Mit Films wurden analoge Versuche gemacht: Der Film war auf ein Brett gespannt und mit einem lichtdichten, schwarzen Papierstreifen bedeckt. Das Brett wurde ein wenig gegen die Einfallsrichtung der Primärstrahlen geneigt; die Entfernung von der Antikathode war so bemessen, daß die Strahlungsintensität an den Enden des Films den gewünschten Unterschied hatte. Die Mittellinie des Films und die Mitte der Antikathode lagen auf einer Horizontalebene. Nach dem Versuch wurden die Films der Länge nach in drei Teile geschnitten und der mittlere in seiner Ebene um 180° gedreht, so daß der Schwärzungsunterschied an den Filmenden leicht zu erkennen war. Die Länge der Films betrug 35 cm; Filmsorte: „Hauff-Rollfilm"; Entwickler: Metol–Hydrochinon. Die Versuchsbedingungen sind aus folgender kleinen Tabelle zu entnehmen:

1) Die Platten waren in schwarzem Papier eingewickelt.

Intensitätsunterschied	Exposition
13 Proz.	2 Min.
9 „	2 „
5 „	2 „
10 „	15 Sek.

In allen vier Fällen war die verschiedene Schwärzung von jedem unbefangenen Beobachter auf den ersten Blick zu erkennen.

Inzwischen ergaben die elektrischen Messungen an Paraffin eine Polarisation von 10 Proz.[1]), bezogen auf die Sekundärstrahlung in einer Richtung, was die photographischen Versuchsergebnisse um so merkwürdiger erscheinen ließ. Daß übrigens die Schwärzung des Films auch tatsächlich durch die primären X-Strahlen erfolgte, erwies das Schattenbild eines Pb-Drahtes.

30. Eine dritte Versuchsanordnung war folgende: In den Aluminiumboden eines Hohl-Kreiszylinders aus Messing mit dem Durchmesser 11 cm wurde die Paraffinkugel mittels eines Aluminiumstieles zentrisch eingesetzt. Der Zylinder wurde horizontal so aufgestellt, daß seine Achse mit der Achse der Primärstrahlen zusammenfiel. Durch zwei Pb-Schirme mit entsprechender Öffnung wurde erreicht, daß der kreisförmige Querschnitt des Primärstrahlenbündels dort, wo es den Radiator traf, nur einen ganz klein wenig größeren Durchmesser hatte als der Radiator selbst, und daß die X-Strahlen, die seitlich an der Glaswand der Röhre entstehen, den Zylinder nicht treffen konnten. Ringsum an die Innenwand des Messingzylinders kam ein 9 cm breiter Film zu liegen, der also nur von Sekundärstrahlen, nämlich an erster Stelle von den Strahlen des Paraffins, an zweiter Stelle von den Strahlen der Luft. des Al-Bodens und des Al-Stieles des Radiators getroffen werden konnte — lauter Substanzen, die, wie die elektrischen Versuche zeigen, die Polarisation anzuzeigen vermögen. Der Al-Stiel des Radiators war mittels eines kleinen Messingzapfen in den Al-Boden befestigt, dessen Schattenbild auf dem Bariumplatincyanürschirm somit zugleich ein Einstellungskriterium

1) Der Film müßte einen Schwärzungsunterschied von 20 Proz. zeigen; vgl. Begründung § 42.

ergab. Die ganze Anordnung war sorgfältig zentriert und in den lichtdichten Kasten eingebaut. Filmsorte: „Hauff-Rollfilm"; Entwickler: Hydrochinon, auch Standentwickelung mit Glyzin. Expositionszeiten: 1 Min. bis zu 90 Min. Die Versuche wurden meistens mit weichen Strahlen angestellt. Der Abstand Radiator–Antikathode wurde möglichst klein gemacht. Außer der bisher benutzten Röhre kam auch eine neue zur Verwendung.

Es wurde auch einmal die Paraffinkugel und der Al-Boden ganz entfernt, so daß nur Luft als Radiator diente; ein andermal war die Al-Kugel eingesetzt. Stets ergab sich dasselbe Resultat: der Film war durch die Sekundärstrahlung völlig gleichmäßig geschwärzt.

31. Zu jener Zeit veröffentlichte Haga[1]) seine Versuchsergebnisse.

Haga, durch Barklas Versuche angeregt, versuchte ebenfalls die Polarisation der X-Strahlen photographisch nachzuweisen, indem er die Sekundärstrahlung eines Radiators auf Films einwirken ließ. Als Radiator diente ihm Luft, später dann ein Konus aus Bogenlampenkohle, mit der Spitze gegen die Primärstrahlen gerichtet. Auch er erhielt mit dieser Anordnung keine Maxima und Minima in der Schwärzung.

Auch diese Versuche wurden in vorliegender Arbeit wiederholt. Kohlen von verschiedener Dicke mit angedrehter Spitze wurden in den Aluminiumboden des vorerwähnten Messingzylinders zentrisch eingesetzt. Exponiert wurde bis zu 90 Min. Stets waren die Films gleichmäßig schwarz.

Ein analoger Versuch mit einem zugespitzten Paraffinzylinder ergab ebenfalls negatives Resultat.

Inzwischen hatte Barkla[2]) nachgewiesen, daß die an einer Kohlenplatte nach entsprechenden Richtungen ausgesandten Tertiärstrahlen eine fast vollständige Polarisation der Sekundärstrahlen, von Primärstrahlen ebenfalls an Kohle erzeugt, anzeigen. Barkla hat auch hier nur die elektrische Wirkung der Strahlung untersucht.

---

1) H. Haga, Versl. K. Ak. van Wet. 15. p. 64—68. 1906; Beibl. 30. p. 1083. 1906; Ann. d. Phys. 23. p. 439—444. 1907.

2) C. G. Barkla, Proc. Roy. Soc. (A) 77. p. 247—255. 1906.

Dies bot Haga Veranlassung, die Polarisation der Sekundärstrahlen nunmehr auch photographisch mittels Tertiärstrahlen zu erweisen. Hier zeigten nun Hagas photographische Versuche Erfolg: Die Films zeigten an den entsprechenden Stellen deutlich Maxima und Minima in der Schwärzung. Die Barklaschen Angaben bezüglich der Quantität der polarisierten X-Strahlen hält Haga für zu groß und zum Teil durch Asymmetrie der Bestrahlung vorgetäuscht.

Diese Resultate erhielt Haga bei einer Exposition von 60 Stunden.

32. Weiteren Versuchen, die Polarisation der Primärstrahlen mittels Sekundärstrahlung nachzuweisen, lag das Prinzip zugrunde, die Sekundärstrahlen vor dem Auftreffen auf den Film erst ein Medium passieren zu lassen, das dieselbe chemische Natur wie der Radiator hatte.

So wurde wieder die Al-Kugel eingesetzt und auf die Schichtseite des Films eine 0,03 mm starke Al-Folie gelegt. Es zeigte sich, daß die Absorption der vom Al ausgehenden Strahlen durch die Al-Folie äußerst gering ist. Exponiert wurde 20 Min. Der Film war sehr wenig geschwärzt, aber ringsum gleichmäßig.

Zu einem analogen Versuch mit Paraffin wurde geschmolzenes Paraffin auf eine Glasplatte gegossen, aus der rasch erstarrenden Masse ein rechteckiger, genügend langer Streifen herausgeschnitten, vom Glas gelöst und, solange er noch weich und schmiegsam war, um einen entsprechenden Metallzylinder gewickelt. Dieser Paraffinring wurde dann auf die Schichtseite des Films gelegt, so daß die von der Paraffinkugel ausgehenden Sekundärstrahlen erst durch eine 1 mm starke Paraffinschicht dringen mußten, worin sie übrigens noch weniger Absorption erlitten, als die Aluminiumstrahlen in der Aluminiumfolie. Exposition: 30 Min. Auch hier erfolgte gleichmäßige Schwärzung.

33. Mittlerweile ergaben die elektrischen Messungen, daß beim Paraffin die Sekundärstrahlung zum großen Teil aus dem Innern des Radiators kommt, nicht nur von der Oberfläche. Deshalb wurde schließlich noch folgender Versuch gemacht. Aus Paraffin wurde ein massiver Kreiszylinder hergestellt (Durchmesser 10 cm), dessen parallele

Grundflächen voneinander 7 cm entfernt waren. Auf diesen wurde je ein Fadenkreuz aus Pb-Draht befestigt; der Schnittpunkt der parallelen Fäden lag in der Achse des Zylinders. Dieser Paraffinzylinder wurde horizontal in den früher beschriebenen Pb-Kasten eingesetzt, da wo bei den elektrischen Versuchen die Paraffinkugel stand. Er ruhte auf einem geeigneten Träger, der gestattete den Zylinder um seine horizontale Achse zu drehen, eventuell herauszunehmen, ohne daß der Zylinder neu eingestellt werden mußte. Die Einstellung erfolgte so, daß die zwei früher genannten und die zwei soeben bezeichneten Fadenkreuze aus Pb sich deckten. Um den Paraffinzylinder war ein Film und darüber ein schwarzer Papierstreifen gewickelt. War der Versuch zu Ende, so wurde der Film vor dem Entwickeln in Benzin gewaschen, damit etwaige fette Stellen auf dem Film entfernt würden. Der Film konnte nicht von Primärstrahlen getroffen werden; deren Querschnittsdurchmesser war an dieser Stelle 7 cm. Exponiert wurde bis zu einer Stunde, ohne auch nur eine Spur verschiedener Schwärzung zu erhalten.

Der Versuch wurde einmal auch mit äußerst weichen Strahlen gemacht, was durch erhöhte Stromstärke und fast kontinuierliches Erhitzen der Regeneriervorrichtung während der ganzen Exposition (20 Min.) erreicht wurde, aber mit negativem Resultat.

Daraufhin wurden die photographischen Versuche aufgegeben.

34. Mögliche Ursache des photographischen Mißerfolges. Wenn man die Art und Weise betrachtet, wie die X-Strahlen an der Antikathode entstehen, so bietet sich eine Möglichkeit, aus der Hemmung des Kathodenstrahlelektrons den photographischen Mißerfolg zu erklären.

Van der Waals[1]) weist darauf hin, daß das Kathodenstrahlelektron beim Zusammenstoß mit dem ersten Teilchen der Antikathode nur etwa 0,02 der Energie, die es im ganzen durch Strahlung verliert, ausstrahlt. Nach dem ersten Zusammenstoß sind alle Richtungen gleich wahrscheinlich, das Elektron kommt dann auf einem Zickzackkurs zur Ruhe oder

1) Van der Waals, Ann. d. Physik, 22. p. 603, 1907.

nimmt vielmehr die Geschwindigkeit der Wärmebewegung an. Da nun Kathodenstrahlen von großer Geschwindigkeit harte X-Strahlen hervorrufen, dagegen Kathodenstrahlen von geringer Geschwindigkeit die weichen X-Strahlen, so wird beim ersten Anprall eines jeden Elektrons ein relativ harter Anteil der Strahlung emittiert, während beim Zickzackkurs der weiche Anteil der Strahlung emittiert wird. Die Polarisation kann aber nur beim ersten Anstoß, wo das Elektron noch seine ursprüngliche Richtung hat, auftreten. Folglich ist der harte Anteil der Strahlung polarisiert, der weiche Anteil dagegen unpolarisiert. Auf die photographische Platte wirken aber hauptsächlich die weichen X-Strahlen, wie dies Röntgen[1]) selbst festgestellt hat.

IV.

Messung der Polarisation.

35. Zahlreiche, elektrische Versuche hatten die Polarisation erwiesen, ohne auch nur einmal zu versagen; sämtliche photographische Versuche aber ergaben negatives Resultat. Um nun zu entscheiden, ob der polarisierte Anteil der Sekundärstrahlung zu gering ist, um einen Unterschied in der Schwärzung auf photographischen Platten oder Films hervorzurufen, oder ob sie sich überhaupt nicht durch Einwirkung der Sekundärstrahlung auf die lichtempfindliche Schicht nachweisen läßt, mußte bestimmt werden, welcher Bruchteil der Sekundärstrahlen polarisiert ist. Die Messung erfolgte in der Weise, daß die vom Radiator ausgehende Sekundärstrahlung in einer Ebene senkrecht zur Achse der Primärstrahlen gemessen wurde, und zwar so, daß zunächst in einer Richtung die Sekundärstrahlung unter Bedingungen bestimmt wurde, die einen Einfluß der Polarisation eliminierten, danach die infolge der Polarisation eintretende Änderung der Sekundärstrahlung festgestellt wurde.

Vor der Ausführung dieser Messung wurde die ganze Versuchsanordnung nachgeprüft: das Prinzip der ganzen Versuchsanordnung blieb dasselbe, jedoch erfuhren

1) W. Röntgen, Berliner Ber. 1897. p. 405—406.

verschiedene Einzelheiten eine Verbesserung. Die einstellbaren Teile wurden mit der größten Sorgfalt und mit allen Mitteln orientiert, um ein möglichst fehlerfreies Versuchsresultat zu erhalten. All dies ist im folgenden Abschnitt, „Endgültige Versuchsanordnung", beschrieben.

1. Endgültige Versuchsanordnung.

36. Das Wichtigste war zunächst, die Achse des Rohres N (Fig. 3), durch die ja die X-Achse des ganzen Systems festgelegt war, nochmals möglichst genau durch Visieren, Anlegen einer Irisblende usw. zu ermitteln; markiert wurde die Achse an dem einen Rohrende durch ein genau orientiertes und zentriertes Kreuz aus horizontalem und vertikalem Pb-Draht, F_1, am anderen Rohrende durch die Kanten zweier aufgeklebter Papierstreifen, die erst wieder entfernt wurden, als alles fertiggebaut war. Das Rohr N wurde an den Pb-Schirm T mittels Holzstützen angekittet, so, daß die Rohrachse horizontal und parallel der Wand Q lag. Damit war die früher definierte X-Achse festgelegt. Parallel dem ersten Fadenkreuz F_1 wurde das zweite F_2 axial wie früher aufgestellt.

An das frei herausragende Ende des Rohres N — wie schon angegeben, war das Rohr auf eine zur Achse senkrechte Pb-Platte B aufgelötet — wurde noch ein Diaphragma D_1 aus Pb gekittet, dessen runde Öffnung so bemessen war, daß keine Primärstrahlen das andere Rohrende (in der Nähe von F_1) treffen und hier störende Sekundärstrahlen erregen konnten. Die Richtigkeit der Berechnung wurde durch Beobachtung mittels des Fluoreszenzschirmes kontrolliert.

Auf das Diaphragma D aus Pb, unmittelbar vor dem Radiator, konnte aus dem früher angegebenen Grunde, nämlich um selbst bei einer Wanderung der Emissionsstelle der X-Strahlen auf der Antikathode eine möglichst gleichmäßige Radiatorbestrahlung zu erzielen, nicht verzichtet werden. Dies Diaphragma, von dem ein 2 mm schmaler Saum ringsum von Primärstrahlen getroffen werden mußte, veranlaßte, wie der Versuch ergab, keine störende Wirkung.

Dagegen wurde hinten an dem Schieber S_1 eine relativ große Fläche von Primärstrahlen getroffen. Die dort ent-

stehenden Sekundärstrahlen mußten stören. Deshalb wurde in den Schieber ein entsprechend weiter Tubus eingesetzt. Der Tubus war aus Zn-Blech (aus Festigkeitsgründen), und

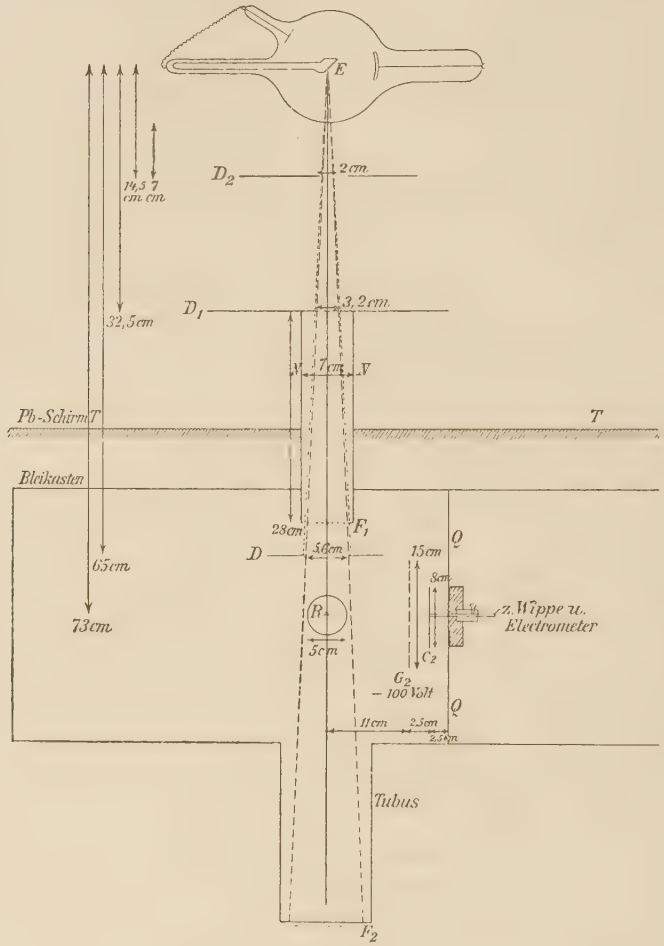


Fig. 3. Horizontalprojektion. Maßstab 1 : 10.

am andern Ende durch Al verschlossen. Die dort entstehenden Sekundärstrahlen konnten nicht stören.

Die Kondensatorplatten C_1 und C_2 wurden mittels Libelle, Senkel und rechtem Winkel orientiert. Die Verbindungs-

gerade ihrer Mittelpunkte war parallel einer zur X-Achse senkrechten Ebene.

Diaphragma D_2. Unmittelbar vor die X-Strahlenröhre wurde noch ein drittes Pb-Diaphragma gesetzt (Durchmesser der Öffnung 2 cm), so daß unmöglich die an der seitlichen Wandung der X-Strahlenröhre entstehenden Primärstrahlen in den Radiatorraum gelangen konnten.

37. Das Einstellen der Emissionsstelle der X-Strahlen in die Achse der Drehvorrichtung geschah, wie früher schon angegeben wurde: In die verlängert gedachte Achse der Drehvorrichtung wurden senkrecht zu dieser Achse zwei parallele Fadenkreuze aus Pb-Draht, in etwa 30 cm Entfernung voneinander und ebensolcher von der Achse der Drehvorrichtung, gebracht und dann ihre Schattenbilder auf dem Bariumplatincyanürschirm betrachtet, die bei jeder Röhrenstellung zusammenfallen mußten, wenn die Emissionsstelle der X-Strahlen in jener Achse lag.

Die Einstellung der Drehachse, und damit zugleich der Emissionsstelle, in die X-Achse des Rohres N war erreicht, sowie die Horizontal- und Vertikalfäden der Fadenkreuze F_1 und F_2 in ihren Schattenbildern auf dem Fluoreszenzschirm, unmittelbar hinter F_2, zusammenfielen. Außerdem wurde noch eine runde Messingscheibe, deren Zentrum durchbohrt war, optisch in die X-Achse zentriert, dort, wo das Diaphragma D für den eigentlichen Versuch zu stehen kam. Dann wurde die Röhre betätigt, und der Bariumplatincyanürschirm hinter die Messingscheibe gehalten, wobei die Entfernung Messingscheibe-Fluoreszenzschirm variiert wurde. Das Schattenbild auf dem Schirm zeigte, von der Mitte nach der Peripherie zu gesehen, folgende Einzelheiten: in der Mitte den Schnittpunkt der Pb-Fäden des Kreuzes F_1, dann ein heller kleiner Kreis, herrührend von der Bohrung der Scheibe, dann einen dunklen Ring, nämlich die Projektion der Messingscheibe, diesen umgeben von einem ringförmigen, hellen Saum. Nur wenn die Achse des Rohres N mit der Achse der Drehvorrichtung zusammenfiel, konnte dies Bild bei jeder Röhrenstellung lauter konzentrische helle und dunkle Kreise zeigen. Wie erwähnt, war die Messingscheibe selbst optisch auf diese

Achse zentriert. Natürlich wurde nach beendeter Einstellung die Scheibe wieder entfernt.

38. Da die Dimensionen[1]) der ganzen Versuchsanordnung sich gegen früher etwas verändert hatten, mußte eine neue Paraffinkugel als Radiator hergestellt werden, die etwas kleiner war als die erste.

Da die zu den folgenden Versuchen benutzte X-Strahlenröhre die erste war, die zur eigentlichen Messung der Polarisation verwendet wurde, soll sie als X-Strahlenröhre I bezeichnet werden. Diese Röhre war fast noch neu; sie war nur bei einigen photographischen Versuchen benutzt worden. Die Röhren, mit denen früher gearbeitet wurde, waren unbrauchbar geworden.

Die Lage der Zuführungsdrähte, die die Energie von den Sekundärklemmen des Induktors zur X-Strahlenröhre führten — es waren hochisolierende Kabel von Siemens —, ist nicht ohne Einfluß auf die Härte der Röhre, und damit auf die Intensität der Sekundärstrahlen. Deshalb wurden die Zuführungsdrähte nicht unmittelbar in den Ösen der Kathoden- und Antikathodenelektrode befestigt, sondern von diesen beiden Ösen aus führte je ein blanker Cu-Draht parallel zur Achse der Drehvorrichtung von der Röhre fort und endigte in je einer durchbohrten, kleinen, länglichen Ebonitplatte, welche an dem auf der Achse der Drehvorrichtung aufgeschraubten Grundbrett des Halters befestigt war. Durch diese gewissermaßen verlängerten Elektroden war erreicht, daß die Zuführungsdrähte wenigstens in der Nähe der Röhre bei einer Drehung derselben keine andere Lage (relativ zur Röhre) annehmen konnten. An die in den erwähnten Ebonitplatten endenden Cu-Drähte wurden dann die Induktorkabel angeschlossen.

39. Mit der neuen Anordnung wurde nun zunächst der Fundamentalversuch von § 13 mit bestem Erfolg wiederholt:

Radiator: Paraffinkugel. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−9,5	+0,3	+9,9	+0,4	−9,8	+0,2	+10,5	+0,5

Damit war die neue Versuchsanordnung erprobt.

1) Eine Tabelle, in der sämtliche Dimensionen zusammengestellt sind, kann erst am Schluß dieses Abschnittes folgen, § 47.

40. Dann wurde versucht, die Polarisation auch nach folgender Methode zu erhalten:

Über das seitliche, vertikale Gitter G_2 wurde ein Pb-Blech gehängt, so daß die Sekundärstrahlen des Radiators die seitliche Kondensatorplatte C_2 nicht treffen konnten. Sie selbst aber blieb dem Elektroskop zugeschaltet (wegen der Kapazität). Die Dicke des Pb-Blechs war 0,3 mm. Da das obere Gitter G_1 ein Potential von + 100 Volt hatte, empfing das Elektroskop nur positive Ladung. Infolge der Polarisation mußte bei horizontal gestellter X-Strahlenröhre die Sekundärstrahlung nach oben intensiver sein, als bei vertikaler Röhre. Dies war auch wirklich der Fall, wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist, in deren erster Horizontalreihe die Röhrenstellungen in der zeitlichen Folge angegeben sind; Expositionszeit war 30 Sek.

Röhrenstellung:	vertik.	horiz.	horiz.	vertik.	vertik.	horiz.
Skalenteile:	+ 15,5	+ 18,0	+ 18,5	+ 16,5	+ 16,0	+ 18,0

Diese Werte zeigen eine Differenz (Polarisation) von $\simeq 2$ Skalenteilen; daß die Werte in den Vertikal- und Horizontalstellungen unter sich nicht stimmen, ist nach späteren Messungen leicht dahin zu erklären, daß bei ganz geringer Änderung der Härte der Primärstrahlen die Intensität der Sekundärstrahlen sich sehr stark ändert.

Nun folgte ein entsprechender Versuch, bei dem das Pb-Blech auf dem oberen, horizontalen Gitter G_1 lag, so daß die Sekundärstrahlen des Radiators die obere Kondensatorplatte C_1 nicht treffen konnten; die Platte selbst blieb dem Elektroskop zugeschaltet. Das seitliche Gitter G_2, von dem nun das Pb-Blech vom vorigen Versuch entfernt war, war auf — 100 Volt geladen. Somit konnte das Elektroskop bei jeder Röhrenstellung nur negative Ladung empfangen. Infolge der Polarisation war bei vertikaler Röhrenstellung die Sekundärstrahlung nach der Seite hin größer, als bei horizontaler Röhre, wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist; Expositionszeit war 30 Sek.

Röhrenstellung:	horiz.	vertik.	vertik.	horiz.
Skalenteile:	— 10,0	— 13,0	— 11,5	— 9,5

Die Werte ergeben eine Differenz (Polarisation) von $\simeq 2{,}5$ Skt.

Noch kürzere Expositionszeit (15 Sek.) erwies sich vorteilhafter, wie folgende Tabellen zeigen, in denen die Röhrenstellungen in der zeitlichen Folge angegeben sind.

a) Pb-Blech vor dem vertikalen, seitlichen Gitter; das Elektroskop empfängt nur positive Ladung von dem oberen Gitter G_2. Die Strahlung zum oberen Gitter muß am intensivsten bei horizontaler Röhrenstellung sein:

Röhrenstellung:	horiz.	horiz.	vertik.	vertik.	horiz.	horiz.
Skalenteile:	+ 30,0	+ 30,5	+ 26,0	+ 27,5	+ 28,0	+ 31,0

b) Pb-Blech auf dem horizontalen, oberen Gitter; das Elektroskop empfängt nur negative Ladung von dem seitlichen Gitter G_2. Die Strahlung zum seitlichen Gitter muß am intensivsten bei vertikaler Röhrenstellung sein.

Röhrenstellung:	horiz.	horiz.	vertik.	vertik.	horiz.	horiz.
Skalenteile:	− 22,5	− 22,0	− 27,0	− 26,0	− 21,5	− 22,5

Wie man sieht, ist bei diesen beiden Versuchen, bei denen 15 Sek. exponiert wurde, die Sekundärstrahlung intensiver als bei den vorhergehenden Versuchen, bei denen 30 Sek. exponiert war. Es ist dies die Folge einer geringen Härteänderung der Primärstrahlen, die als solche aus dem Bild der Handknochen auf dem Fluoreszenzschirm noch fast nicht zu erkennen ist, aber trotzdem schon eine beträchtliche Veränderung der Sekundärstrahlungsintensität bewirkt. In späteren Versuchen ist auf diesen Punkt näher eingegangen worden.

41. Derartige Versuche, bei denen das eine Gitter von Sekundärstrahlen nicht getroffen werden konnte, wurden zahlreiche gemacht, und so die Polarisation auf diese neue Methode nachgewiesen.

Dabei wurde auch einmal eine Funkenstrecke in die Stromleitung zur Anode-Antikathode eingelegt, wodurch keine Änderung im Verlauf der Erscheinung hervorgerufen wurde; ebensowenig, wenn die Funkenstrecke in der Zuleitung zur Kathode war.

Da sich die Methode mit dem abschirmenden Pb-Blech bewährte, und außerdem die Intensität der Sekundärstrahlung gleichzeitig mit der Polarisation zu messen ermöglichte, wurde eine Einrichtung getroffen, die gestattete, mittels eines Hebels von außen nach Belieben ein Pb-Blech (Dicke 1,5 mm) in den

Weg der Sekundärstrahlen zum seitlichen Kondensator zu bringen. Diese Methode soll von nun an der Kürze halber als *Methode II* bezeichnet werden, im Gegensatz zur Differentialmethode (Methode I), mit der bisher die Polarisation nachgewiesen worden war. Die Kapazität des ganzen Elektrometersystems änderte sich durch die Annäherung des Pb-Blechs bei Methode II nicht, wie darüber angestellte Versuche zeigten.

Durch Methode II war gleichzeitig Polarisation und Sekundärstrahlungsintensität bestimmt; es konnte somit jene auf diese bezogen werden.

42. *Definition und Maß der Polarisation.* Die vom Radiator zu dem oberen Gitterkondensator kommende Sekundärstrahlung bewirke am Elektrometer einen Ausschlag von a Skalenteilen in der Zeit t bei Horizontalstellung der Röhre, in derselben Zeit t und den gleichen äußeren Bedingungen (Stromstärke, Röhrenhärte) einen anderen Ausschlag von b Skalenteilen bei Vertikalstellung der Röhre. Infolge der Polarisation ist a von b verschieden.

Als Maß für die mittlere Intensität der Sekundärstrahlung setzen wir dann

$$S = \frac{a + b}{2}$$

und als Maß für die Polarisation

$$\Delta = \frac{a - b}{2}.$$

Bezieht man die Polarisation Δ auf die mittlere Sekundärstrahlung S, so erhält man

$$\frac{\Delta}{S} = \frac{a - b}{a + b}.$$

Es beträgt somit die Polarisation in Prozenten der mittleren Sekundärstrahlung

$$x = 100 \cdot \frac{a - b}{a + b}.$$

Bei der Methode I (Differentialmethode) wird $(a - b)$ direkt gemessen, somit der Wert $2\,\Delta$. Auch bei den photographischen Versuchen unterschied sich die Intensität der Sekundärstrahlen in jenen zueinander senkrechten Richtungen um den Wert $2\,\Delta$.

Bei Methode II werden a und b einzeln gemessen; die Röhrenstellung ist hierbei um 90^0 verschieden.

43. *Messung der Polarisation.* Die Werte sind in der zeitlichen Folge der Versuche angegeben.

a) Nach Methode II. Exposition: 15 Sek.

Röhrenstellung:	45°	90°	0°	0°	90°	45°
Skalenteile:	+17,0[1])	26,0	21,0	22,0	27,5	23,0
Röhrenstellung:	45°	0°	0°	90°	90°	90°
Skalenteile:	+22,0	21,0	22,5	26,0	29,0	27,0
Röhrenstellung:	0°	90°	45°	45°	0°	45°
Skalenteile:	+21,5	26,5	23,5	24,5	21,5	24,5

Das Mittel aus den sechs Stellungen von 90° (horiz.) ergibt

$$a = 27{,}0 \text{ Skt.}$$

Das Mittel aus den sechs Stellungen von 0° (vertik.) ergibt

$$b = 21{,}6 \text{ Skt.}$$

Dann ist

$$\left.\begin{aligned} S &= \frac{a+b}{2} = 24{,}3 \text{ Skt.} \\ \Delta &= \frac{a-b}{2} = 2{,}7 \text{ Skt.} \end{aligned}\right\} \text{ 15 Sek. Exposition;}$$

somit beträgt bei der Paraffinkugel und den benützten mittelweichen Strahlen der Röhre I die Polarisation **11 Proz.**

b) Nach Methode I. Exposition: 30 Sek.

Röhrenstellung:	45°	90°	0°	90°	0°	0°	45°	90°
Skalenteile:	0	+5,5	−3,5	+4,5	−4,0	−4,0	0	+4,0

Das Mittel aus den drei Stellungen von 0° (vertik.) ergibt

$$(a - b) = 3{,}8 \text{ Skt.}$$

Das Mittel aus den drei Stellungen von 90° (horiz.) ergibt

$$(a - b) = 4{,}7 \text{ Skt.}$$

Somit ist im Mittel nach Methode I $(a - b) = 2\,\Delta = 4{,}3$ Skt., d. h.

$$\Delta = 2{,}2 \text{ Skt. bei 30 Sek. Exposition.}$$

c) Rechnerische Vergleichung der nach Methode I und II erhaltenen Werte: Bei der Vergleichung der nach Methode I und nach Methode II erhaltenen Werte ist folgendes zu berücksichtigen: Bei der Methode I (Differentialmethode)

1) Röhre regeneriert!

bedeuten die am Elektrometer abgelesenen Zahlen den Wert $(a - b) = (S + \Delta) - (S - \Delta) = 2\Delta$ [1]), bei Methode II den Wert $a = S + \Delta$. Da nun stets $S >> \Delta$ ist, so muß, um genügend große Werte von Δ zu erhalten, bei Methode I länger exponiert werden. Eine längere Exposition ist aber stets mit einer Härteänderung der Röhre verbunden, wodurch, wie gezeigt werden wird, eine Änderung von Δ und eine sehr beträchtliche Änderung von S hervorgerufen wird, selbst dann, wenn die Härteänderung der Röhre so gering ist, daß sie aus dem Schattenbild der Hand auf dem Fluoreszenzschirm nicht als solche erkennbar ist. Die Folge ist, daß die nach beiden Methoden erhaltenen Werte für Δ voneinander verschieden sind. Die im obenstehenden Versuch erhaltenen Werte für Δ sind außerdem von einer Fehlerquelle beeinflußt, von der im nächsten Paragraphen die Rede sein wird. Wie groß hier bei den *ersten* Messungen nach Methode II die Unsicherheit war, geht aus folgenden Versuchen hervor, die unmittelbar hintereinander bei weichen Strahlen nach Methode II gemacht wurden.

Versuch I; Exposition 5 Sek: $S = 15{,}8$ Skt., $\Delta = 2{,}1$ Skt.
„ II; „ 5 „ $S = 13{,}3$ „ $\Delta = 1{,}3$ „
„ III; „ 10 „ $S = 24$ „ $\Delta = 3{,}3$ „ in 5 Sek.

Die unzweifelhaft bestehende Härteänderung, die aus der Verschiedenheit der Werte S und Δ bei den drei Versuchen zu erkennen ist, war auf dem Fluoreszenzschirm nicht zu bemerken. Im Laufe der weiteren Untersuchungen wurden solche minimale Härteänderungen sorgfältigst beachtet. Als bestes Kriterium für eine mögliche Härteänderung *während* der Exposition erwiesen sich die Fluoreszenzfarbennuancen an der X-Strahlenröhre selbst, namentlich in der Nähe der Elektroden, auch das Aussehen und die Lage jener merkwürdigen Figuren, die eine im Betrieb befindliche X-Strahlenröhre zeigt. — Die Zeitbestimmung wurde späterhin nicht mehr nach dem Sekundenzeiger einer Taschenuhr, sondern mittels eines Sekundenklopfers gemacht.

In der Tat werden die späteren Messungen eine

1) Wo die Symbole a, b, S und Δ die in den beiden vorhergehenden Paragraphen angegebene Bedeutung haben (p. 56 u. 57).

bessere Übereinstimmung der nach den beiden Methoden erhaltenen Werte für Δ ergeben.

44. Bevor nun dazu übergegangen wurde, die Polarisation bei verschiedenen Röhren und unter verschiedenen Bedingungen nach der angegebenen Methode II zu messen, war noch eine Fehlerquelle zu beseitigen, die sich im Laufe der Beobachtungen zeigte, und deren Einfluß folgender war.

War durch minimale Verschiebung des seitlichen Gitters G_2 so eingestellt, daß bei der Röhrenstellung 45° das Blättchen des Elektrometers in Ruhe blieb (Methode I), so galt diese Einstellung, streng genommen, nur für Strahlen von der bei der Einstellung selbst benutzten Härte. Nach einer viermaligen Exposition von je 2 Min., während deren sich die Röhrenhärte änderte, bewegte sich in der Regel das Blättchen des Elektrometers, bei Betätigung der Röhre in derselben 45°-Stellung, um etwa 1 Skt., anstatt auf dem Teilstrich Null der Skala zu bleiben. Analoge kleine Unstimmigkeiten zeigten sich, wenn, anstatt auf Null in den vier 45°-Stellungen einzustellen, auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge in den Horizontal- und Vertikalstellungen der Röhre eingestellt wurde. Bei den metallenen Radiatoren zeigte sich diese Erscheinung noch störender als beim Paraffinradiator. Damit im Zusammenhang stand offenbar die Tatsache, daß auch, wenn die Gitter G_1 und G_2 geerdet waren, das Elektrometerblättchen eine schwache, langsam anwachsende Ladung von 1—2 Skt. erhielt, sowie Primärstrahlen durch die Diaphragmata eintraten. Einige Versuche zeigten, daß die Ursache hiervon *Kontaktpotential* war, das erst bemerkbar wurde, wenn die Luft zwischen zwei sich nicht berührenden, verschiedenen Metallstücken, z. B. Platten aus Messing, Blei, Aluminium, durch die Sekundärstrahlung ionisiert wurde. Da nun bei ganz geringer Härteänderung der Primärstrahlen die Intensität der Sekundärstrahlen sich beträchtlich ändert, somit der Grad der Ionisierung der Luft nicht konstant ist, ist auch die Zeit, innerhalb welcher durch die Ionisation eine Aufladung bis zu dem jeweils vorliegenden Kontaktpotential erfolgt, bei verschiedenen Expositionen je nach der Härte der Primärstrahlen verschieden. Die Folge ist, daß der Einfluß des Kontaktpotentials auf die Angaben des Elektrometers *variabel* ist.

45. Zur Beseitigung des Kontaktpotentials wurden alle metallenen Träger und Stative — soweit sie im Radiatorraum sich befanden — mit Pb verkleidet oder, soweit dies möglich, verbleit, nach dem beim Verzinnen (Löten) üblichen Verfahren. Die Verschraubungen, die den ganzen Pb-Kasten zusammenhielten, wurden ebenfalls mit Pb überzogen. In den Tubus aus Zn-Blech wurde ein solcher aus Pb eingesetzt, der Aluminiumverschluß desselben durch Pb ersetzt. Die Erdleitungen im Radiatorraum waren aus Pb-Draht; die Kabel, die die Spannung der Batterie auf die Gitter übertrugen, endeten in blanken Pb-Drähten. Die Kondensatorplatten wurden aus Pb hergestellt; ihre Stiele mit Pb umgeben. Auch die Messinggitter wurden durch solche aus Pb ersetzt; gleichzeitig erhielten sie eine engere Maschenweite. Waren nämlich die Messinggitter geerdet, und wurde ein elektrisierter Kork an die Stelle des Radiators gebracht, so erhielt das Elektrometer Ladung. Dies durfte nicht sein, da ja die Radiatorkugel durch Aussendung sekundärer Kathodenstrahlen positiv elektrisch werden konnte. Die Gitter wurden auf einen Hartgummirahmen aus 0,35 mm dickem Pa-Draht geflochten und erhielten eine Maschenweite von $\simeq 1{,}5$ mm.

Im Elektrometerraum war eine Pb-Verkleidung unnötig, wenn nur gesorgt war, daß keine ionisierte Luft hineinkam: das Fenster in den Radiatorraum hinein war mit eingelassenem Paraffin dicht verschlossen; an den Fugen und Spalten des Kastens, namentlich am Schieber, waren Wattestreifen angeklebt.

Damit waren jene kleinen Störungen beseitigt.

46. Es möge noch folgender Versuch angeführt werden, der ausgeführt wurde, um den Nachweis zu liefern, daß die beobachteten Polarisationserscheinungen nicht etwa durch Strömung ionisierter Luft, vom Radiator ausgehend, beeinflußt werden. Zwischen dem Radiator und jedem Gitter wurde je eine Al-Folie, die auf einen Rahmen gespannt und sorgfältig geerdet war, angebracht. Die Folien waren ihrem Gitter parallel; ihr Abstand vom Gitter der gleiche (2 cm). Die Dicke der Folien betrug 0,01 mm, ihre Fläche (14×14) qcm. Der Versuch zeigte, daß ein Einfluß auf die Polarisation

nicht vorhanden war. Die Al-Folien wurden dann wieder entfernt.[1])

47. In Fig. 3 ist eine schematische Darstellung (Horizontalprojektion) der neuen Einstellung und Anordnung in ihren wesentlichen Teilen im Maßstab 1 : 10 gegeben. Die *Dimensionen* sind außerdem in folgender Tabelle zusammengestellt.

Durchmesser der Kugel der X-Strahlenröhre	15 cm
Entfernung Antikathodenmitte–Diaphragma D_2	14,5 „
„ nächster Punkt der Kugel–Diaphragma D_2 . .	7 „
Durchmesser des Diaphragmas D_2	2 „
Entfernung Antikathodenmitte–Diaphragma D_1	32,5 „
Durchmesser des Diaphragmas D_1	3,2 „
Länge des Pb-Rohres samt Stärke des Diaphragmas D_1 .	28 „
Durchmesser des Pb-Rohres N	7 „
Entfernung Antikathodenmitte–Diaphragma D	65 „
Durchmesser des Diaphragmas D	5,6 „
Entfernung Antikathodenmitte–Radiatorzentrum	73 „
Durchmesser des Radiators	5 „
Entfernung Radiatorzentrum–Gitter	11 „
Fläche des quadratischen Pb-Gitters	(15.15)qcm
Entfernung Gitter–Kondensatorplatte	2,5 cm
Durchmesser der Kondensatorplatten aus Pb	8 „
Entfernung Kondensatorplatte–Pb-Wand	2,5 „

3. Endgültige Messungen.

Die folgenden Paragraphen enthalten die Resultate der unter verschiedenen Bedingungen ausgeführten Messungen, die mit der beschriebenen neuen Versuchsanordnung gemacht wurden.

48. Polarisation der *Paraffinkugel* bei weichen Strahlen der Röhre I.

a) Methode I. Exposition: 120 Sek.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−31,0	0	+49,0	+3,4	−37,0	−0,3	+38,0	+1,6

Mittelwert von $(a - b) = 2\,\Delta = 39$ Skt.,

somit ist $\Delta = 19{,}5$ Skt. bei 120 Sek. Exposition.

1) Ein weiterer Kontrollversuch, der darlegt, daß die Polarisation nicht vorgetäuscht wird durch eine etwa bestehende keilförmige Dicke der Röhrenwandung an der Stelle, wo die benutzten X-Strahlen die Wandung durchdringen, wird, einer anderen Meßmethode wegen, erst unten (§ 60) angegeben werden.

b) Methode II. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	0°	90°	90°	0°	0°
Skalenteile:	8,5	6,5	9,2	9,1	7,5	7,5

Mittelwert der Stellung von 90° (horiz.): $a = S + \Delta = 8{,}9$ Skt.,
„ „ „ „ 0° (vertik.): $b = S - \Delta = 7{,}2$ „

somit ist $S = 8{,}1$ Skt. in 5 Sek., $\Delta = 0{,}9$ Skt. in 5 Sek.; die Polarisation beträgt demnach bei den genannten Bedingungen

$$x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = \mathbf{11\ Proz.}$$

c) Vergleich der nach den beiden Methoden erhaltenen Werte von Δ:

Methode II ergab für Δ den Wert $\Delta_{II} = 0{,}9$ Skt. bei 5 Sek. Exposition
„ I „ „ „ „ „ $\Delta_I = 19{,}5$ „ „ 120 „ „

folglich beträgt Δ_I bei 5 Sek. Exposition 0,8 Skt.

Resultat: Die Polarisation der Paraffinkugel beträgt bei weichen Strahlen der Röhre I 11 Proz.

49. Polarisation bei harten und weichen Strahlen der Röhre I. Die folgenden Messungen sind unmittelbar hintereinander bei sechs verschiedenen Härtezuständen der Röhre I nach Methode II ausgeführt. Jedesmal ist die Länge der zur Röhre parallel geschalteten Funkenstrecke angegeben, bei der die Entladung des Induktors sich einteilte gleichzeitig in die Entladung durch die Funkenstrecke und in die Entladung durch die Röhre, so daß also die Funken kontinuierlich übergehen und die Röhre gleichmäßig leuchtet. Die Expositionszeit wurde möglichst kurz (5 Sek.) gewählt, um innerhalb eines jeden Versuches konstante Röhrenhärte zu erhalten. Als Radiator diente die Paraffinkugel. Zur Ausführung der Messung wurde ein Sekundenklopfer benutzt.

a) Sehr weiche Strahlen. Parallele Funkenstrecke 4 cm. Das Bild der Hand, auf den Bariumplatincyanürschirm betrachtet, erscheint als ganz schwarze Silhouette („Schornsteinfinger“).

Methode II.[1]) Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	0°	90°	90°	0°	0°	90°	45°
Skalenteile:	3,0	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	4,5

$S = 4{,}4$ Skt. } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = \mathbf{16\ Proz.}$ Polarisation.
$\Delta = 0{,}7$ „ }

1) Bei diesen äußerst weichen Strahlen versagt Methode I; dieselbe erfordert größere Expositionszeit, wodurch die Röhre härter wird — oder unbrauchbar.

b) Weiche Strahlen; parallele Funkenstrecke: 5 cm.
Methode II. Expositionszeit: 5 Sek.

Röhrenstellung:	0°	0°	90°	90°	0°	90°	45°
Skalenteile:	5,5	6,0	7,0	7,5	6,0	8,0	7,0

$S = 6{,}7$ Skt. $\Delta = 0{,}9$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **13 Proz.** Polarisation.

c) Mittelweiche Strahlen; parallele Funkenstrecke: 6 cm.
Methode II. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	45°
Skalenteile:	9,5	9,5	7,5	7,5	9,0	8,0	8,5

$S = 8{,}5$ Skt. $\Delta = 0{,}8$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **9 Proz.** Polarisation.

d) Mittelharte Strahlen; parallele Funkenstrecke: 8 cm.
Methode II. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	45°
Skalenteile:	12,0	12,5	10,0	10,5	13,0	11,0	11,8

$S = 11{,}5$ Skt. $\Delta = 1$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **8 Proz.** Polarisation.

e) Harte Strahlen, parallele Funkenstrecke: 12 cm.
Methode II. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	45°
Skalenteile:	16,5	17,0	16,0	16,0	16,5	15,5	16,0

$S = 16{,}3$ Skt. $\Delta = 0{,}5$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **3 Proz.** Polarisation.

f) Sehr harte Strahlen; parallele Funkenstrecke: 20 cm.
Methode II. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	45°
Skalenteile:	16,5	16,5	16,0	15,5	16,0	15,5	16,0

$S = 16{,}0$ Skt. $\Delta = 0{,}3$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **2 Proz.** Polarisation.

Diese Versuche zeigen folgendes:

1. Mit zunehmender Härte der Röhre nimmt die Intensität der Sekundärstrahlung bedeutend zu.[1]) Eine scheinbare Ausnahme zeigen die Versuche unter f), wo keine weitere Zunahme der Sekundärstrahlung zu bemerken ist.

1) Durch diese Tatsache wurden die Messungen sehr erschwert, zumal wenn — wie bei den später angegebenen Absorptionsversuchen — länger exponiert werden mußte. Extreme Härteänderungen machen den Wert von S mehr als 3 mal so groß.

Jedoch ist zu beachten, daß bei harten Strahlen die Stromstärke im primären Induktorstromkreis um $^2/_5$ und mehr geringer ist als bei weichen Strahlen. Ein Überspringen von Funken am Induktor oder den Elektroden der Röhre wurde zwar vermieden, jedoch war am Knistern der Röhre zu erkennen, daß ein gut Teil der Entladungen verloren ging.

2. Mit zunehmender Härte der Röhre nimmt die Polarisation ab, verschwindet jedoch nicht, was durch die Methode I mit Sicherheit weiter unten nachgewiesen werden wird.

Zur Erklärung dieses Versuchsergebnisses kann im Zusammenhang mit den Betrachtungen des § 34 die Annahme gemacht werden, daß bei der Hemmung eines raschen Elektrons (harte Röhre) ein verhältnismäßig kleiner Teil der gesamten X-Strahlung beim ersten gerichteten Anprall — und demnach polarisiert — ausgestrahlt wird; der größere Anteil der Emission geschähe danach unpolarisiert auf dem ungeordneten Hemmungsweg. Es ist auch wohl plausibel, daß ein langsames Elektron sofort bei der ersten Hemmung den größten Teil seiner Energie verliert.

3. Bei den mittleren Strahlen der Röhre I läßt sich durch Paraffin 10 Proz. Polarisation nachweisen, d. h. betrüge die Sekundärstrahlung der Paraffinkugel, wenn gar keine Polarisation vorhanden wäre, in jeder Richtung 100 Einheiten, so ist ihre Intensität infolge der Polarisation parallel den Kathodenstrahlen 90 Einheiten, senkrecht dazu 110 Einheiten.

Diese Resultate bestätigen die schon früher wiederholt erhaltenen Versuchsergebnisse.

50. Polarisation der Paraffinkugel bei *harten* Strahlen mittels Methode I nachweisbar. Die geringe Polarisation bei sehr harten Strahlen verleiht den unter f) im vorhergehenden Paragraphen erhaltenen Werten immerhin einige Unsicherheit. Wenn auch der Verlauf des Versuches derselbe ist, wie der der anderen a) bis e), so ist doch ein Unterschied von 0,5 Skt. recht unbedeutend, so daß man auch glauben könnte, die Polarisation verschwindet überhaupt bei harten Strahlen. Daß dies sicher nicht der Fall ist, beweisen die Messungen nach der Methode I (Differentialmethode), die hier folgen mögen. Bei diesen Versuchen wurde 1 Min. exponiert, also 12 mal länger als bei den Versuchen nach Methode II.

a) Mittelweiche Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 6 cm.
Methode I. Exposition: 60 Sek.

Röhrenstellung:	45°	90°	180°	270°	360°
Skalenteile:	+0,2	+15,0	−20,5	+18,0	−17,5

Mittelwert von $(a - b) = 2\,\Delta = 18$ Skt. $\Delta = 9$ Skt.[1])

b) Mittelharte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 8 cm.
Methode I. Exposition: 60 Sek.

Röhrenstellung:	45°	90°	180°	270°	360°
Skalenteile:	+0,8	+21,5	−20,0	+20,5	−22,0

Mittelwert von $(a - b) = 2\,\Delta = 21$ Skt. $\Delta = 10{,}5$ Skt.

c) Harte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 12 cm.
Methode I. Exposition: 60 Sek.

Röhrenstellung:	45°	90°	180°	270°	360°
Skalenteile:	+1,5	+14,0	−13,5	+15,0	−15,5

Mittelwert von $(a - b) = 2\,\Delta = 14{,}5$ Skt. $\Delta = 7{,}2$ Skt.

d) Sehr harte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 20 cm.
Methode I. Exposition: 60 Sek. Röhre äußerst hart.

Röhrenstellung:	45°	90°	180°	270°	360°
Skalenteile:	2,5 [2])	+8,0	−6,0	+9,0	−5,0

Mittelwert von $(a - b) = 2\,\Delta = 7$ Skt. $\Delta = 3{,}5$ Skt.

Resultat: Die Polarisation verschwindet auch bei den härtesten Strahlen nicht völlig.

51. Aluminium. Bei den Versuchen mit einer Aluminiumkugel als Radiator machte sich eine Erscheinung störend bemerkbar, die vermutlich mit dem Einfluß des Kontaktpotentiales zusammenhängt, auf den in § 44 hingewiesen wurde. Wenn bei weichen X-Strahlen auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge am Elektrometer eingestellt war (vgl. graphische Darstellung 11, Kurve I), dann zeigte sich für harte Strahlen eine Asymmetrie der Ausschläge (Kurve II) in dem Sinne einer negativen Ladung des Elektrometers.

1) Bei diesen Versuchen, wo selbst minimale Härteänderungen der Röhre verhütet wurden, zeigt sich eine gute Übereinstimmung der nach den beiden Methoden erhaltenen Werte für Δ (vgl. §§ 49 u. 50). Ein derartiges Herstellen von gleicher Härte erforderte aber viele Vorversuche und war daher nicht überall angängig.

2) Statt Null! Die harten Strahlen gehen wohl durch den Pb-Schirm T hindurch.

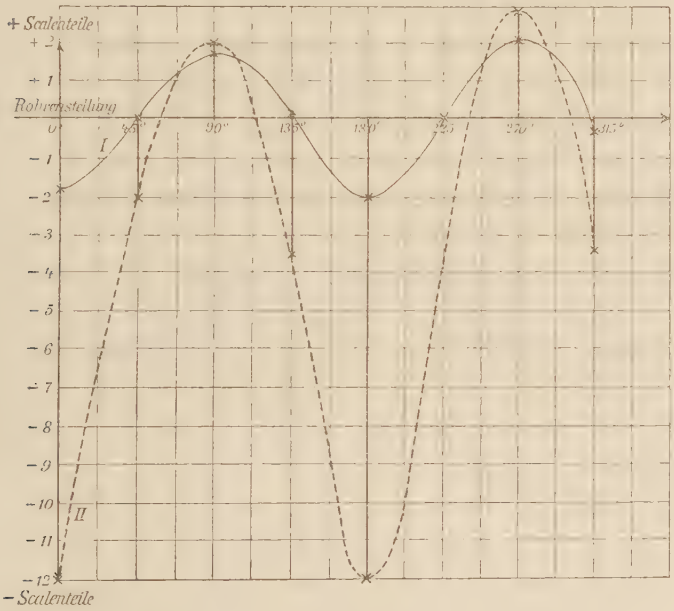
Da Al gegen Pb, woraus Gitter und Kondensatorplatten bestanden, negativ elektrisch ist, so kann dies Resultat wahrscheinlich so gedeutet werden, als ob in stärker ionisierter Luft (bei harten Strahlen, vgl. § 49) jene negative Elektrizität rascher an die Kondensatorplatten gelangt als in schwächer ionisierter.

a) Mittelweiche Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 7 cm.
Methode I. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−1,7	0,0	+1,7	+0,2	−2,0	−0,1	+2,1	−0,3.

b) Härtere Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 10 cm.
Methode I. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−12,0	−2,2	+2,0	−3,5	−12,0	negativ	+3,0	−3,5



Graph. Darstellung 11. Einfluß des Kontaktpotentials.
Radiator: Aluminiumkugel. Exposition: 2 Min.

I. Weiche Strahlen. II. Harte Strahlen. Eingestellt wurde auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge bei weichen Strahlen (Kurve I).

Somit gilt bei Al die Gittereinstellung immer nur für einen Härtezustand der Röhre.

52. Polarisation der Aluminiumkugel bei weichen und harten Strahlen der Röhre I. Gemessen wurde nach Methode II, exponiert 10 Sek.

a) Mittelweiche Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 6 cm. Methode II. Exposition: 10 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	45°
Skalenteile:	7,0	7,0	6,0	6,0	7,0	6,5	6,5

$S = 6{,}6$ Skt. $\Delta = 0{,}4$ „ } in 10 Sek. $x = 100 \cdot \frac{0{,}4}{6{,}6} = 6$ **Proz.** Polarisation.

b) Mittelharte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 9 cm. Methode II. Exposition: 10 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°
Skalenteile:	11,5	11,5	10,0	10,0	10,0	10,0	11,0	11,0	12,0	11,0

$S = 10{,}9$ Skt. $\Delta = 0{,}4$ „ } in 10 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 4$ **Proz.** Polarisation.

c) Harte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 12 cm. Methode II. Exposition: 10 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°	45°
Skalenteile:	17,5	18,5	17,5	17,5	19,5	17,5	18,0

$S = 18$ Skt. $\Delta = 0{,}5$ „ } in 10 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 3$ **Proz.** Polarisation.

d) Sehr harte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 16 cm. Methode II. Exposition: 10 Sek.

Röhrenstellung:	0°	0°	90°	90°
Skalenteile:	20,0	21,0	20,0	21,0

Nach Methode II ist hier die Polarisation nicht mehr nachweisbar; daß sie aber bei dieser Härte der Strahlen noch vorhanden ist, zeigen die Ergebnisse der Methode I.

Resultat: Bei den mittleren Strahlen der Röhre I läßt sich durch Al 5 Proz. Polarisation nachweisen.

Wendet man auf die Zahlen[1]), die Barkla über seine Versuche mit Al angibt, unsere Art der Definition der Polari-

1) C. G. Barkla, Phil. Trans. (A) 204. p. 475. 1905.

sation an, so ergibt sich aus seinen Werten ebenfalls 5 Proz. Polarisation für Al. — Paraffin hat Barkla nicht untersucht.

53. Luft. Wurde als Radiator die Luft benutzt, so wurde es schon recht schwierig, auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge durch minimale Verrückung des seitlichen Gitters einzustellen.

Mittelweiche Strahlen. Methode I. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Skalenteile:	−0,9	0,0	+1,2	−0,1	−0,8	0,0	+1,0	−0,3

Resultat: Mit Luft ist die Polarisation nachweisbar; sie ist aber zu gering, um nach Methode II gemessen werden zu können. Methode I ergibt für Δ den Wert 0,5 Skt.

54. Blei. Die Pb-Kugel war geerdet. Nach Methode I ergab sich bei 2 Min. Exposition für

a) Mittelweiche Strahlen. Methode I. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	40°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	$\Delta = 0{,}6$ Skt.
Skalenteile:	−1,1	Null	+1,2	Null	−1,2	Null	+1,3	−0,3	

Die Einstellung auf entgegengesetzt gleiche Skalenteile war schwierig.

b) Harte Strahlen. Parallele Funkenstrecke: 16 cm.
Methode I. Exposition: 2 Min. Gitterstellung unverändert.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−3,5	+2,3	−1,5	+0,6

Die Differentialmethode ergibt somit in beiden Fällen Polarisation, wenn die Pb-Kugel als Radiator eingesetzt ist. Um zu entscheiden, ob die beobachtete Polarisation der Pb-Kugel selbst oder der sie umgebenden Lufthülle zukommt, wurde der Pb-Radiator entfernt und der Versuch bei unverändertem Gitterabstand und mit mittelweichen Strahlen wiederholt. Es ergab sich bei 2 Min. Exposition:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−1,3	+0,9	−4,8	−0,6

Der relativ große Wert von −4,8 Skt. bei der Röhrenstellung 180° und das Vorzeichen des Wertes bei der Röhrenstellung 270° beweisen, daß bei diesem letzten Versuch die Einstellung auf entgegengesetzt gleiche Ausschläge nicht mehr stimmt, was doch der Fall sein müßte, wenn die beobachtete Polarisation bei Versuch a) von der Lufthülle ausginge. Bei Versuch a) ist das strahlende Luftquantum sehr gering, beim Versuch in § 53 dagegen doch viel größer; trotzdem sind die aus den beiden Versuchen resultierenden Werte von Δ nicht sehr verschieden.

Dies führt zu dem Schluß, daß Pb die Polarisation doch minimal zu zeigen vermag. Die Methode II versagt, wenn Pb als Radiator dient, völlig.

Resultat: Mit Sicherheit ist die Polarisation bei Pb nicht nachweisbar; doch scheint eine Spur davon vorhanden zu sein.

Wurde in den Gang der Primärstrahlen eine Platte aus Paraffin (4 cm dick) gebracht, so war die Polarisation mit Pb gerade so unsicher nachzuweisen wie ohne die Paraffinplatte.

55. *Blei mit Paraffin überzogen.* Wie schon oben angegeben, vermag Pb die Polarisation zu zeigen, sowie es mit einer dünnen Paraffinschicht überzogen ist. Darüber wurden bei mittelweichen Strahlen folgende Messungen nach Methode I bei 2 Min. Exposition ausgeführt.

a) Blanke Pb-Kugel ohne Paraffinüberzug.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−1,1	+1,2	−1,2	+1,3

Δ = 0,6 Skt. in 2 Min.

b) Pb-Kugel mit Paraffinüberzug von 0,25 mm Dicke.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−2,0	+1,8	−1,9	+1,6

Δ = 0,9 Skt. in 2 Min.

c) Pb-Kugel mit Paraffinüberzug von 0,5 mm Dicke.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−2,0	+4,5	−2,0	+6,0

Δ = 1,8 Skt. in 2 Min.

d) Pb-Kugel mit Paraffinüberzug von 0,8 mm Dicke.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−3,5	+6,2	−4,5	+7,0

$\Delta = 2{,}7$ Skt. in 2 Min.

e) Pb-Kugel mit Paraffinüberzug von 1,25 mm Dicke.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−5,3	+6,5	−7,0	+9,0

$\Delta = 3{,}5$ Skt. in 2 Min.

f) Pb-Kugel mit Paraffinüberzug von 2 mm Dicke.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−8,5	+9,5	−9,0	+11,0

$\Delta = 4{,}8$ Skt. in 2 Min.

Erst nachdem der Paraffinüberzug diese Stärke erreicht hatte, war nach Methode II ein Resultat zu erhalten. Der Versuch ergab folgendes:

Pb-Kugel mit Paraffinüberzug von 2 mm Dicke.
Methode II. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	45°
Skalenteile:	4,0	4,1	3,2	3,7	4,4	4,0

$S = 3{,}8$ Skt.
$\Delta = 0{,}4$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 10$ Proz. Polarisation.

Dieser Wert ist aber wegen des geringen Unterschiedes unsicher.

g) Zum Vergleich diene die massive Paraffinkugel selbst.
Methode I. Mittelweiche Strahlen. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°
Skalenteile:	−26	+21	−30	+26

$\Delta = 12{,}9$ Skt. in 2 Min.

Resultat: Je dicker der Paraffinüberzug, desto mehr Polarisation zeigt die paraffinierte Pb-Kugel an; hinreichend ist bereits die Dicke von 0,25 mm.

Die einzelnen Versuchsresultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Stärke der Paraffinschicht in mm	Δ in Skalenteilen
0	0,6
0,25	0,9
0,5	1,8
0,8	2,7
1,25	3,5
2,0	4,8
Massive Paraffinkugel (Radius 2,5 cm)	12,9

56. *Sekundärstrahlung aus dem Innern des Radiators.* Von Interesse war die Frage, ob die Sekundärstrahlung des Paraffins hauptsächlich nur von der Oberfläche des Radiators ausgeht oder auch beträchtlich vom Innern, im Gegensatz zu der paraffinierten Pb-Kugel, bei der, wie die Versuche von § 55 ergaben, die Strahlung zum größten Teil von der Oberfläche ausgeht.

Darüber wurden folgende Versuche angestellt, bei denen anstatt der Kugel als Radiator eine Paraffinplatte mit parallelen Seitenflächen diente. Die Platte hatte die Dimension $(9 \times 9 \times 4)$ ccm, war also größer als der Querschnitt des Primärstrahlenbündels; sie kam senkrecht gegen die X-Achse zu stehen. Auf der Rückseite war diagonal durch den Mittelpunkt ein Kreuz aus Pb-Draht eingelassen, um den Mittelpunkt der Platte in die X-Achse einstellen zu können. Die Ebene ihrer Vorderseite, verlängert gedacht, traf die Kondensatorplatten in der Mitte.

I. Zunächst wurde nun nach Methode II bestimmt, wieviel Polarisation die Platte bei mittelweichen Strahlen zu zeigen vermag.

Methode II. Mittelweiche Strahlen. Exposition: 5 Sek.

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	0°
Skalenteile:	6,5	7,0	6,0	6,2	8,0	6,5
Röhrenstellung:	0°	0°	90°	90°	0°	90°
Skalenteile:	7,0	7,5	10,5	11,0	8,7	13,0

$S = 8{,}2$ Skt.
$\Delta = 1{,}2$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 14$ **Proz. Polarisation.**

Die Polarisation der Paraffinkugel hatte bei mittelweichen–weichen Strahlen 10—13 Proz. betragen.

II. Nun galt es, zu entscheiden, ob die Paraffinstrahlung in der Hauptsache von der Oberfläche des Radiators ausgeht, oder vom Innern. Da nur Vorder- und Rückfläche der Paraffinplatte von Primärstrahlen getroffen wurden, konnten die anderen Flächen mit Pb bedeckt werden, ohne daß dieses selbst Sekundärstrahlen aussandte. Es wurden folgende Versuche bei mittelweichen Strahlen nach Methode I gemacht.

a) Alle Flächen der Paraffinplatte von Pb frei.

Expositionszeit	vertikale Röhre	horizontale Röhre
0 Sek.	0,0 Skt.	0,0 Skt.
30 „	− 5,0 „	+ 5,0 „
60 „	−11,5 „	+11,0 „

b) Obere Fläche mit Pb bedeckt.

Expositionszeit	vertikale Röhre	horizontale Röhre
0 Sek.	0,0 Skt.	0,0 Skt.
30 „	−30,5 „	−43,5 „

Die von der Vorder- und Rückseite der Paraffinplatte ausgehenden Strahlen können durch die Luft ungehindert zum positiven und negativen Gitter gelangen. Wären nur diese Strahlen vorhanden, so müßte das Elektrometer bei horizontaler Röhrenstellung und bedeckter oberer Fläche positiven Wert zeigen. Da es aber einen negativen Wert angibt, so folgt, daß die Sekundärstrahlung zum weitaus überwiegenden Teil aus dem Innern des Radiators kommt; diese Strahlen können zum oberen (positiven) Gitter wegen des Pb-Bleches nicht gelangen, sondern nur zum seitlichen (negativen) Gitter, nachdem sie das Paraffin durchdrungen haben.

c) Obere Fläche frei; die dem seitlichen Gitter zugewandte Fläche mit Pb bedeckt.

Expositionszeit	vertikale Röhre	horizontale Röhre
0 Sek.	0,0 Skt.	0,0 Skt.
30 „	+24,0 „	+32,5 „

Die Strahlung kommt also auch aus dem Innern, geht durch das Paraffin hindurch und kann nur zum oberen (positiven) Gitter gelangen.

d) Obere Fläche, Seitenfläche und Rückfläche mit Pb umgeben.

Die Dicke des Pb-Bleches war 3 mm, so daß nur wenig primäre Strahlung durch das Pb hindurch gehen konnte; die auf der Rückseite des Pb-Bleches entstehenden Sekundärstrahlen waren somit äußerst schwach; zudem konnten die meisten von ihnen das Gitter nicht einmal treffen.

Expositionszeit	vertikale Röhre	horizontale Röhre
0 Sek.	0,0 Skt.	0,0 Skt.
30 „	0,0 „	0,0 „
60 „	−0,2 „	+0,2 „
90 „	−0,3 „	+0,3 „
120 „	−0,4 „	+0,4 „

Hier kommt die Strahlung von der Vorderfläche; sie zeigt Polarisation, aber äußerst wenig.

e) Paraffinplatte wieder vollständig von Pb frei.

Expositionszeit	vertikale Röhre	horizontale Röhre
0 Sek.	0 Skt.	0,0 Skt.
30 „	− 9,0 „	+ 6,0 „
60 „	−16,0 „	+13,0 „

Polarisation wie gewöhnlich.

Resultat: Bei Paraffin kommt die Sekundärstrahlung zum größten Teil aus dem Innern.

57. Sekundärstrahlen unter *schiefem* Winkel gegen die X-Achse emittiert. In den bisherigen Versuchen wurden stets Sekundärstrahlenbündel untersucht, die ziemlich senkrecht zur X-Achse emittiert wurden. Es hatte sich gezeigt, daß infolge der Polarisation der X-Strahlen z. B. bei horizontaler Röhrenstellung die senkrecht zur X-Achse emittierten Sekundärstrahlen in vertikaler Richtung größere Intensität besitzen als in horizontaler Richtung. Wie verhielt sich nun bei dieser Röhrenstellung die schief zur X-Achse emittierte Sekundärstrahlung? Zeigte auch ihre Intensität in der Horizontalebene (gelegt durch den Radiatormittelpunkt) ein Minimum, und in der Vertikalebene (durch den Radiatormittelpunkt) ein Maximum? Dieser Frage galten die folgenden Versuche, in denen die Sekundärstrahlung, die der Radiator schief gegen die X-Achse emittiert, innerhalb der Horizontalebene und inner-

halb der Vertikalebene — beide Ebenen durch den Radiatormittelpunkt gelegt — untersucht wurde. Als Radiator diente bei diesen Versuchen eine runde Scheibe aus Paraffin von 1 cm Dicke, die stets senkrecht zur X-Achse zu stehen kam. Diesem Radiator wurden folgende Stellungen gegeben, die als Stellung I, II und III bezeichnet werden mögen und in den Figg. 4, 5 und 6 schematisch gezeichnet sind.

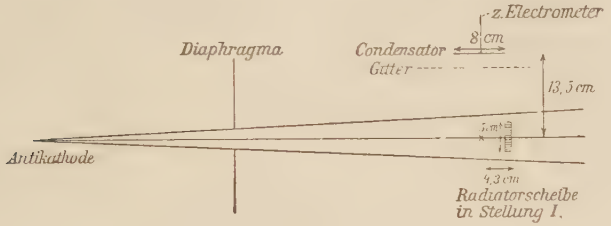


Fig. 4.

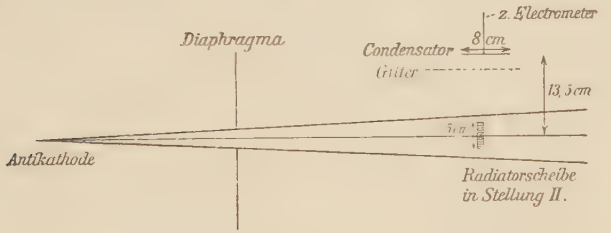


Fig. 5.

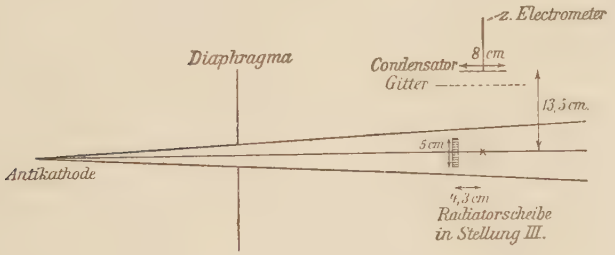


Fig. 6.

Maßstab der Figg. 4, 5 und 6: 1 : 12,5.

Stellung I. Der Abstand der Scheibe von der Antikathode ist größer als der normale, d. h. als der Abstand, den bei allen anderen Versuchen der Radiator hatte. Die Ebene, senkrecht zur Achse der Primärstrahlen durch den

Scheibenmittelpunkt gedacht, trifft die Kondensatorplatten nicht.

Stellung II. Der Abstand der Scheibe von der Antikathode ist der normale, so daß jene Ebene durch den Scheibenmittelpunkt die Kondensatorplatten in der Mitte trifft.

Stellung III. Der Abstand der Scheibe von der Antikathode ist kleiner als der normale. Jene Ebene durch den Scheibenmittelpunkt trifft die Kondensatorplatten nicht.

In Stellung I und III sind die Sekundärstrahlen, welche die Kondensatorplatten treffen, gegen die *X*-Achse unter dem Winkel von 72° geneigt, in Stellung II unter rechtem Winkel.

Zunächst wurde bei ungeänderter Röhrenstellung nach Methode II die die obere Kondensatorplatte treffende Sekundärstrahlung in den drei Radiatorstellungen gemessen. Die Versuche ergaben bei *mittelweichen Strahlen:*

a) Röhrenstellung vertikal.

Mittelweiche Strahlen. Exposition: 5 Sek.

Scheibenstellung	I	II	III	I
1. Messung	2,5	3,0	3,2	2,5 Skt.
2. Messung	3,0	3,7	4,3	3,5 „
3. Messung [1])	2,5	3,0	3,0	2,5 „
4. Messung	2,5	3,0	3,5	3,0 „

Um diese Zahlen miteinander vergleichen zu können, müssen noch folgende Korrektionen angebracht werden.

1. Die Intensität der primären X-Strahlen nimmt proportional dem Quadrat der Entfernung ab. Infolgedessen ist die Energie der den Radiator treffenden Strahlung in den drei Stellungen eine verschiedene. Der Abstand Mitte der Antikathode – Radiator in Stellung II beträgt 73 cm. Durch die Verschiebung des Radiators in die Stellungen I oder III wird dieser Abstand um $\pm 4{,}3$ cm geändert. Daraus berechnet sich die Zahl 1,12, mit der die Werte in Stellung I multipliziert werden müssen, und die Zahl 1,13, mit der die Werte in Stellung III dividiert werden müssen, um die Variation der Primärstrahlenintensität zu eliminieren, und alle Werte auf

1) Röhre regeneriert.

die Energiestrahlung zu beziehen, die den Radiator in Stellung II trifft. Die folgende Tabelle enthält die so reduzierten Werte und zugleich die durch Härteänderung der Röhre erzeugte Variation der Sekundärstrahlen, die durch die Vergleichung der beiden Werte in den zeitlich verschiedenen Stellungen I bestimmt ist.

Scheibenstellung	I	II	III	Härteänderung	Mittel aus Stellungen I u. III
1. Messung	2,8	3,0	2,8	0,0	2,8 Skt.
2. „	3,4	3,7	3,8	+0,5	3.6 „
3. „	2,8	3,0	2,7	0,0	2,7 „
4. „	2,8	3,0	3,1	+0,5	2,9 „

2. Die Entfernung Radiatormittelpunkt–Mitte der Kondensatorplatte ist bei Stellung I und III größer als bei Stellung II. Läßt man auch für die Sekundärstrahlen das Gesetz gelten, daß ihre Energie proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt, so müssen die Werte in Stellung I und III mit der Zahl 1,1 [1]) multipliziert werden, um alle Werte auf die Entfernung Radiator in Stellung II–Kondensatorplatte zu beziehen. Man erhält dann folgende Werte:

	Intensität der emittierten Sekundärstrahlen		
Scheibenstellung	senkrecht gegen die *X*-Achse	schief gegen die *X*-Achse	Härteänderung
1. Messung	3,0	3,0	0,0 Skt.
2. „	3,7	3,9	+0,5 „
3. „	3,0	3,0	0,0 „
4. „	3,0	3,2	+0,5 „

Somit ist an der bei vertikaler Röhrenstellung nach oben emittierten Sekundärstrahlung eine Intensitätsverschiedenheit in senkrechter und schiefer Richtung bei 5 Sek. Expositionszeit nicht zu bemerken.

---

1) Die Zahl 1,1 berechnet sich folgendermaßen: Der Abstand Radiator in Stellung II–Kondensatorplatte beträgt 13,5 cm, der Abstand Radiator in Stellung I (oder III) – Kondensatorplatte 14,3 cm. Läßt man das erwähnte Gesetz gelten, so ist die Intensität der Sekundärstrahlen bei Radiatorstellung I und III mit dem Faktor $(14{,}3/13{,}5)^2 = 1{,}1$ zu multiplizieren.

b) Röhrenstellung horizontal.

Mittelweiche Strahlen. Exposition: 5 Sek.

Nach Anbringung der genannten Korrektionen ergab diese Messung:

Scheiben-stellung	Intensität der emittierten Sekundärstrahlen senkrecht gegen die *X*-Achse	schief gegen die *X*-Achse	Härte-änderung
1. Messung	4,0	4,4	+0,5 Skt.
2. „	2,5	2,5	+0,2 „
3. „	3,0	3,2	+0,3 „
4. „	3,0	3,1	+0,3 „

Auch bei horizontaler Röhrenstellung ist an der nach oben emittierten Sekundärstrahlung eine Intensitätsverschiedenheit in senkrechter und schiefer Richtung bei 5 Sek. Expositionszeit nicht zu bemerken.

Dieselben Versuche wurden nun bei *härteren Strahlen* wiederholt, so ergab sich:

a) Röhrenstellung horizontal. Exposition: 5 Sek.

Scheiben-stellung	Intensität der emittierten Sekundärstrahlen senkrecht gegen die *X*-Achse	schief gegen die *X*-Achse	Härte-änderung
1. Messung	5,5	5,9	0,0 Skt.
2. „	6,0	5,9	0,0 „
3. „	6,0	6,0	+0,1 „
4. „	6,0	6,0	+0,9 „

b) Röhrenstellung vertikal. Exposition: 5 Sek.

Scheiben-stellung	Intensität der emittierten Sekundärstrahlen senkrecht gegen die *X*-Achse	schief gegen die *X*-Achse	Härte-änderung
1. Messung	6,0	6,3	0,0 Skt.
2. „	7,0	6,8	+0,3 „
3. „	7,0	7,0	−0,2 „
4. „	7,0	7,1	+0,5 „

Auch bei harten Strahlen ist eine Intensitätsverschiedenheit bei 5 Sek. Exposition nicht zu bemerken.

Resultat: Innerhalb einer durch die X-Achse gelegten Ebene läßt sich bei einer Expositionszeit von 5 Sek. keine Spur einer Intensitätsverschiedenheit zwischen den senkrecht gegen die X-Achse emittierten Sekundärstrahlen und den unter einem Winkel von 72° schief gegen die X-Achse emittierten Sekundärstrahlen *nachweisen.*

Dies Resultat schließt jedoch nicht aus, daß doch eine kleine Verschiedenheit der Intensität besteht, die erst bei längerer Exposition bemerkbar würde; eine längere Expositionszeit aber macht wegen der großen Härteänderung und der damit verbundenen sehr beträchtlichen Änderung der Sekundärstrahlungsintensität jede Messung illusorisch. Dazu kommt noch der Umstand, daß der Radiator zwischen je zwei Versuchen in eine andere Stellung gebracht werden muß, wobei er immer vollkommen zentrisch bestrahlt sein soll.

58. Die Polarisation der X-Strahlen bei schief gegen die X-Achse emittierten Sekundärstrahlen. Nun wurde untersucht, ob die schief gegen die X-Achse emittierten Sekundärstrahlen die Polarisation der primären X-Strahlen anzeigen.

Methode II, die nur bei kurzen Expositionszeiten gute Resultate liefert, ergab für den Radiator in Stellung II folgendes Resultat bei mittelweichen Strahlen und 5 Sek. Exposition:

Röhrenstellung:	90°	90°	0°	0°	90°	90°	0°	0°	90°	0°
Skalenteile:	3,5	3,5	2,7	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	4,7	3,8

$S = 3{,}5$ Skt.
$\Delta = 0{,}4$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 11$ Proz. Polarisation.

Diese Methode wurde auch auf Radiatorstellung I und III angewandt, jedoch ohne Erfolg, da die für S und Δ erhaltenen Werte zu gering waren, um irgendwelche sichere Schlüsse daraus ziehen zu können. Länger zu exponieren war auch nicht möglich aus dem am Schluß des vorhergehenden Paragraphen bemerkten Grunde.

Dagegen war die Polarisation bei allen drei Radiatorstellungen nach Methode I, bei der der Ein-

fluß der Änderung von S eliminiert ist, nachweisbar. Exponiert wurde 2 Min. bei mittelweichen Strahlen.

Röhrenstellung:		0°	90°	180°	270°	
Radiatorstellung	I:	−10,0	+ 9,5	−10,0	+ 9,7	Skt.
„	II:	−16,0	+17,0	−19,0	+18,0	„
„	III:	−12,0	+13,0	−14,0	+13,0	„

Die im vorhergehenden Paragraphen besprochenen zwei Korrektionen — wegen der Änderung der Antikathodenentfernung und der Weglänge der Sekundärstrahlen — müssen auch hier angebracht werden. Man erhält dann folgende Werte:

Röhrenstellung	0°	90°	180°	270°	
senkrechte Sekundärstrahlen	−16,0	+17,0	−19,0	+18,0	Skt.
schiefe Sekundärstrahlen .	−12,0	+12,2	−13,0	+12,3	„

Demnach ist für die senkrecht emittierten Sekundärstrahlen Δ (im Mittel) = 8,7 Skt., während für die schief emittierten Sekundärstrahlen Δ' (im Mittel) = 6,2 Skt ist. Somit ist $\Delta' < \Delta$.

Die Polarisation nimmt also bei schief emittierten Strahlen ab. Der Winkel zwischen der Achse des untersuchten Sekundärstrahlenbündels und der X-Achse betrug bei

Radiatorstellung	I	72°
„	II	90°
„	III	108°

Resultat: Sekundärstrahlen, die senkrecht gegen die Achse der Primärstrahlen ausgehen, zeigen am meisten Polarisation.

59. Methode III. Die folgenden Paragraphen enthalten Versuche, bei denen die in verschiedener Richtung emittierten primären X-Strahlen bezüglich der Polarisation untersucht werden. Es galt, die Polarisation Δ und die Intensität der Sekundärstrahlung S der jeweils beobachteten Primärstrahlen zu bestimmen. Die Methode I mißt auch kleine Werte von Δ mit großer Sicherheit, gibt aber keinen Aufschluß über die Größe S. Methode II bestimmt zwar das wahre Verhältnis von Δ und S, ist aber nur bei kurzen Expositionszeiten mit Erfolg anwendbar, wegen der Änderung der Größe S bei längerer Exposition. Ist nun diese Größe Δ, z. B. $< 0{,}5$ Skt.

in der Expositionszeit, so wird die Messung nach Methode II unsicher. Um nun die Größen S und Δ zuverlässiger zu bestimmen, wurde folgendes Verfahren angewandt:

Es wird, beispielsweise bei der Röhrenstellung 90°, die Größe $S_1 + \Delta_1 = a$ nach Methode II beobachtet. Dann wird bei derselben Röhrenstellung die Größe Δ_1 nach Methode I bestimmt. Dann wird die Röhre um 90° gedreht und nach Methode II der Wert $S_2 - \Delta_2 = b$ beobachtet. Hierbei muß darauf geachtet werden, daß die Härte der Röhre bei allen Versuchen möglichst dieselbe ist, was durch entsprechendes Regenerieren der Röhre zu erreichen ist. Dann wird bei derselben Röhrenstellung nach Methode I wieder der Wert Δ_2 gemessen. Wendet man dies Verfahren auf alle vier um 90° verschiedene Röhrenstellungen an, so erhält man:

$$\left.\begin{array}{l} S_1 + \Delta_1 = a \\ S_2 - \Delta_2 = b \\ S_3 + \Delta_3 = a' \\ S_4 - \Delta_4 = b' \end{array}\right\} \text{ nach Methode II und } \left\{\begin{array}{l} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \end{array}\right\} \text{ nach Methode I.}$$

Da nun die Röhrenhärte bei allen Versuchen die gleiche war — wenigstens soweit dies erreichbar war —, so darf man bei den nach Methode II erhaltenen Werten setzen

$$\Delta_1 + \Delta_3 - \Delta_2 - \Delta_4 = 0 \text{ (nach Methode II)}$$

und

$$S = \tfrac{1}{4}(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) = \tfrac{1}{4}(a + b + a' + b').$$

Aus den nach Methode I erhaltenen Werten bestimmt sich Δ durch

$$\Delta = \tfrac{1}{4}(\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4).$$

Diese Methode, die eigentlich nur eine Kombination der Methode I und II ist, soll der kurzen Bezeichnungsweise wegen, im folgenden als Methode III angeführt werden.

Diese Methode III hat den Nachteil, daß sie das wahre Verhältnis von S und Δ nicht so genau bestimmt wie Methode II. Dagegen bietet sie folgende Vorteile:

1. Läßt sie die Änderung des Verhältnisses von Δ/S für verschiedene X-Strahlen sehr deutlich und mit Sicherheit erkennen, weil sie längere Expositionszeiten verträgt, nämlich etwa 30—60 Sek., während Methode II nur 5—10 Sek. zuläßt.

2. Ist S und Δ bei jeder Röhrenstellung gemessen, was deshalb von Wichtigkeit ist, weil beim Drehen der Röhre ihre Härte sich etwas ändert.

Demnach läßt sich über die Verwendbarkeit der drei angegebenen Methoden folgendes zusammenstellen:

Methode I mißt selbst die kleinsten Werte von Δ, aber nicht die Größe S. Expositionszeit: 2—3 Min.

Methode II bestimmt das wahre Verhältnis von Δ/S, verträgt aber nur kurze Expositionszeiten (5 bis 10 Sek.).

Methode III gibt über Änderung des Wertes Δ/S Aufschluß, bestimmt aber seinen absoluten Wert nicht genau. Expositionszeit: 30—60 Sek.

60. Anwendung der Methode III auf einen Kontrollversuch.[1]) Da die Methode III über die Änderung des Wertes Δ/S am besten Aufschluß ergibt, wurde untersucht, ob diese Größe sich ändert, wenn die Primärstrahlen nicht nur die Glaswand der X-Strahlenröhre, sondern noch eine weitere Glasschicht durchdringen müssen. Gerade die Röhrenwandung könnte ja auch die Polarisation nur vortäuschen. Wäre nämlich die Glaswand der Röhre an der Stelle, wo sie von den benutzten Primärstrahlen durchsetzt wird, von keilförmiger Dicke, so würden die den Radiator treffenden Primärstrahlen eine ungleiche Absorption erleiden, und ein Teil des Radiators würde von intensiveren X-Strahlen getroffen werden. Folglich würde der Radiator Sekundärstrahlen aussenden, die in verschiedener Richtung verschiedene Intensität zeigen würden, und diese Asymmetrie der Sekundärstrahlung müßte mit der Drehung der Röhre mitwandern.

Daß die Polarisation der X-Strahlen nicht auf solche Weise vorgetäuscht wird, beweist folgender Versuch mit einer 2 mm dicken planparallelen Glasplatte, die in den Gang der Primärstrahlen eingeschaltet wurde. Die Verschiedenheit der Absorption der Primärstrahlen in der Röhrenwandung infolge der wohl bestehenden keilförmigen Dicke derselben ist

1) Dieser Kontrollversuch konnte nicht im Zusammenhang mit den früheren angegeben werden, weil damals die Einrichtungen für Methode III noch nicht bestanden.

jedenfalls außerordentlich klein gegenüber der Absorption der Strahlen in der planparallelen Glasplatte, so daß jene Verschiedenheit wohl fast nicht mehr wahrgenommen werden könnte, d. h. eine nur vorgetäuschte Polarisation müßte bei diesem Versuch stark abnehmen oder ganz verschwinden. Der mit der Paraffinkugel bei mittelweichen Strahlen nach Methode III ausgeführte Versuch ergab folgendes:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°][1]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	10,0	11,0	10,5	11,5	11,0 Skt.	30 Sek.
Polarisation:	−7,6	+8,2	−8,0	+8,3	−8,0 „	2 Min.

$S = 10{,}6$ Skt., $\Delta = 1{,}0$ „ } in $^1/_2$ Min. $\quad x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 9{,}4$ Proz. Polarisation.

Die Polarisation in Prozenten ist also dieselbe, wie ohne die dazwischengeschaltete Glasplatte.

Resultat: Die beobachteten Polarisationserscheinungen sind durch eine etwa bestehende keilförmige Dicke der Glaswandung der X-Strahlenröhre *nicht* vorgetäuscht.

Dies wird auch durch die Tatsache bewiesen, daß die Bleikugel — als Radiator benutzt — keine Polarisation zeigt, wofür gar kein Grund bestände, wenn die beobachteten Erscheinungen nur eine Folge der ungleich dicken Röhrenwandung wären.

61. Einfluß der Medien, die die Primärstrahlung absorbieren, auf die Polarisation. Der Versuch des vorigen Paragraphen mit der absorbierenden Glasplatte hatte keinen Einfluß derselben auf die Polarisation ergeben. Nun wurde untersucht, ob auch solche Medien, die sich bezüglich der Polarisation der X-Strahlen so charakteristisch verhalten, wie Blei und Paraffin, keinen Einfluß auf die Polarisation ausübten, wenn sie in den Gang der Primärstrahlen gebracht wurden. Derartige Versuche wurden zunächst gemacht mit Pb, mit Wasser, Petroleum und 5 proz. Bleinitratlösung in einem Aluminiumgefäß, und mit Paraffin. Als Radiator diente hierbei stets die Paraffinkugel. Ausgeführt wurden die

1) Die Werte für diese Stellung sind bei Berechnung von S nicht berücksichtigt, da nur bei einer geraden Anzahl von Beobachtungen die Größe Δ eliminiert wird, vgl. § 60.

Messungen nach Methode III. Speziell bei dem Versuch mit dem absorbierenden Pb wurde an eine möglicherweise auftretende Depolarisation gedacht. Jedoch wurde in allen Fällen Polarisation erhalten. Einige dieser Versuche ergaben sogar das merkwürdige Resultat, daß sich durch die Absorption der Primärstrahlen — falls sie nicht zu gering war — in dem in den Strahlengang eingeschalteten Medium die Intensität der Sekundärstrahlen in stärkerem Maße verminderte als die Polarisation, so daß daraus eine Zunahme der Polarisation in Prozenten resultierte. Es galt nun, dieses unerwartete Resultat so genau wie nur möglich auf seine Richtigkeit zu prüfen. Bei diesen Messungen zeigte sich aber eine große Schwierigkeit, die nicht zu umgehen war und in folgendem bestand:

Die beobachtete Zunahme der Polarisation war nur dann zu erhalten, wenn die Absorption, die die Primärstrahlen erlitten, eine sehr beträchtliche war. Dann aber wurden die am Elektrometer abgelesenen Werte für S und 2Δ außerordentlich klein. Andererseits mußte so kurz wie nur möglich exponiert werden, um Härteänderungen der Röhre möglichst zu verhindern, da ein ganz minimales Härterwerden der Primärstrahlung den Wert von S, d. h. die Intensität der Sekundärstrahlung beträchtlich vergrößerte, so daß sich dann ein ganz anderes Verhältnis von Δ/S berechnete. Der Versuch, mit größerer Elektrometerempfindlichkeit zu arbeiten, hatte keinen Erfolg, da das Instrument in gleicher Weise auch empfindlicher gegen Härteänderung der Röhre und der dadurch bewirkten Intensitätsänderung der Sekundärstrahlen wurde. Daher enthalten die im folgenden angegebenen Versuche, aus denen eine Zunahme der Polarisation zu ersehen ist, sehr kleine Werte für S und 2Δ. — Zu beachten ist, daß auch an einigen anderen Stellen vorliegender Arbeit zur Bestimmung der Polarisation in Prozenten sehr kleine Werte für Δ angegeben sind; diese Werte sind aber aus größeren Zahlenwerten, die am Elektrometer abgelesen wurden, durch Rechenoperationen erhalten, während bei den Versuchen dieses Paragraphen die unmittelbar am Elektrometer abgelesenen Zahlenwerte sehr klein sind. — Auch war es bei keinem anderen Versuch vorliegender Arbeit in dem Maße nötig, immer wieder durch Zwischenversuche die richtige Härte der Röhre, die ganz genau nur aus der Inten-

sität der Sekundärstrahlung (bei gleichen Bedingungen) zu beurteilen war, durch minimales Regenerieren oder eventuell durch Erkaltenlassen der Röhre herzustellen. — Aus diesen Gründen sind die Messungen dieses Paragraphen nicht so zuverlässig wie die übrigen. Daß aber die Versuchsresultate, die eine Zunahme der Polarisation ergeben, doch Anspruch auf einige Sicherheit haben, beweisen die stets vor und nach jedem Absorptionsversuch gemachten Versuche ohne absorbierendes Medium, die immer bei mehreren Röhrenstellungen gemacht wurden und stets denselben Wert für Δ/S ergaben. Auch ist unter allen Absorptionsversuchen nicht einer, der eine Abnahme der Polarisation gezeigt hätte. Folgende Versuchsresultate wurden erhalten:

Absorbierendes Medium	S in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	2Δ in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	Polarisation in Proz.
Luft (4) [1]	23,5	30	9,8	60	10
Pt-Folie I [2] (4)	2,0	30	1,6	60	20
Luft (1)	23,0	30	10,0	60	10
Dann wurde die Empfindlichkeit des Elektrometers aufs doppelte erhöht.					
Luft (4)	23,0	15	10,0	30	10
Pt-Folie I (5)	2,1	30	2,0	60	22
Luft (1)	23,0	15	10,0	30	10
Wasser (5) [3]	4	30	3,4	60	21
Luft (1)	22,0	15	10,2	30	11

Darauf wurden die Versuche mit einer neueren Röhre gemacht; es ist dies dieselbe, die späterhin als Röhre III bezeichnet ist. Diese Röhre III ergab unter denselben Bedingungen, unter denen die bisher benutzte Röhre I 10 Proz. Polarisation gab, nur 6 Proz. Über diesen Punkt vgl. § 65, wo von der Polarisation verschiedener X-Strahlenröhren die

1) Die in Klammern beigefügte Zahl bedeutet die Anzahl der unmittelbar aufeinanderfolgenden Versuche in den verschiedenen Röhrenstellungen.

2) Dicke 0,12 mm.

3) In einem parallelepipedischen Al-Gefäß, dessen Wand 0,2 mm stark war. Auch die anderen Flüssigkeiten wurden in diesem Gefäß untersucht. Die Dicke der durchstrahlten Flüssigkeitsschicht betrug 2 cm.

Rede ist. Die neuere Röhre III, die ihre Härte weniger rasch ändern sollte, ergab folgende Versuchsresultate bei normaler Elektrometerempfindlichkeit.

Absorbierendes Medium	S in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	2Δ in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	Polarisation in Proz.
Luft (5)	43,5	15	9,9	30	6
1 Stanniolblatt[1]) (5)	33,0	15	8,3	30	6
Luft (3)	44,5	15	9,8	30	6
2 Stanniolblatt (5)	25,3	15	6,6	30	6
Luft (3)	44,5	15	9,5	30	6
4 Stanniolblatt (5)	21,8	15	5,6	30	6
Luft (3)	43,0	15	9,5	30	6
8 Stanniolblatt (5)	12,5	15	3,5	30	7
Luft (3)	43,5	15	9,2	30	6
16 Stanniolblatt (5)	6,7	15	2,0	30	7
Luft (3)	45,0	15	10,0	30	6
1 Cu-Blech I[2]) (5)	22,0	15	6,5	30	7
Luft (3)	45,5	15	10,1	30	6
2 Cu-Bleche I (5)	13,5	15	5,0	30	9
Luft (3)	44,5	15	10,5	30	6
1 Cu-Blech II[3]) (5)	2,5	15	2,2	60	10
Luft (3)	45,0	15	10,0	30	6
1 Messingblech[3]) (4)	2,9	30	2,1	60	7
Luft (1)	42,0	15	10,5	30	6
Wasser (5)	8,7	15	4,2	30	12
Luft (3)	42,0	15	9,8	30	6
Petroleum (5)	14,0	15	4,7	30	9
Luft (3)	43,0	15	9,5	30	6
Nitrobenzol (5)	13,0	15	4,3	30	8
Luft (3)	43,0	15	9,0	30	6
Benzol (5)	15,3	15	4,8	30	8
Luft (1)	42,0	15	9,5	30	6
Schwefelkohlenstoff	2,0	30	—	—	—
Luft (2)	42,5	15	9,3	30	6
75 Teile Benzol u. 25 Teile Schwefelkohlenstoff (5)	4,3	15	2,1	30	12
Luft (3)	43,0	15	9,7	30	6

1) Dicke 0,005 mm.
2) Dicke 0,05 mm.
3) Dicke 0,25 mm.

Absorbierendes Medium	S in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	$2\,\Delta$ in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	Polarisation in Proz.
70 Teile Benzol u. 30 Teile Schwefelkohlenstoff (5)	4,3	15	2,0	30	12
Luft (3)	43,0	15	9,8	30	6
Pt-Folie II[1]) (5)	35,0	15	8,7	30	6
Luft (3)	43,0	15	10,0	30	6
Pt-Folie I (5)	9,4	15	4,0	30	10
Luft (1)	42,0	15	10,2	30	6
Pt-Folie III[2]) (2)	2,0	15	1,1?	30	14?
Luft (5)	43,0	15	10,0	30	6
3 Al-Bleche[3]) (5)	5,5	15	2,0	30	9
Luft (1)	42,0	15	10,0	30	6

Resultat: Aus diesen zahlreichen Versuchsresultaten ist doch wohl mit einiger Sicherheit die Zunahme der Polarisation, veranlaßt durch das Einschalten beträchtlich absorbierender Medien in den Gang der Primärstrahlen, zu erkennen.

Mit absoluter Sicherheit läßt sich diese Frage nur dann entscheiden, wenn es gelingt, eine X-Strahlenröhre zu verwenden, deren Härte sich nicht nur sehr wenig, sondern überhaupt nicht ändert, einerlei ob die Röhre in eine andere Lage gebracht wird oder länger beansprucht wird.

Im Anschluß an diese Versuche wurde schließlich auch noch der Einfluß der Luftschicht, die die Primärstrahlen zwischen Röhre und Radiator passieren mußten, untersucht. Zu diesem Zwecke wurde die Drehvorrichtung samt der axial eingestellten Röhre auf eine fast 3 m lange optische Bank gesetzt, und diese mittels Fußschrauben so eingestellt, daß die Drehvorrichtung auf den Stahlschienen der Bank, von einem geeigneten Schlitten geführt, beliebig verschoben werden konnte, wobei die Projektionen der oben beschriebenen Pb-Fadenkreuze auf dem Fluoreszenzschirm in Deckung bleiben

1) Dicke 0,003 mm.
2) Dicke 0,05 mm.
3) Dicke je 2 mm.

mußten. Da aber bei einer größeren Entfernung Antikathode–Radiator der Radiator infolge der bisher benutzten Disposition der Blenden nicht mehr in seiner ganzen Ausdehnung, sondern nur noch zentral von Primärstrahlen getroffen wurde, mußte speziell für diesen Versuch an den Blenden folgende Änderung vorgenommen werden: Die Blende D_2 wurde ganz entfernt, und statt der Blende D_1 wurde ein System von drei konzentrisch übereinander verschiebbaren Blenden mit den Durchmessern 3,2, 4,5 und 4,9 cm (berechnet nach dem doppelten bzw. dreifachen Abstand Antikathode–Radiator) eingesetzt. Diese Blendenvorrichtung wurde sorgfältigst in die Achse des Rohres N zentriert mittels vier Fadenkreuze, in ähnlicher Weise wie oben. Die Blende D blieb unverändert. Auf diese Weise war erreicht, daß bei jeder Verschiebung der Drehvorrichtung dem X-Strahlenbündel an der Stelle, wo es den Radiator traf, stets derselbe Querschnittsdurchmesser gegeben werden konnte. Der Versuch, der mit Röhre III ausgeführt wurde, ergab nun folgendes Resultat:

Absorbierende Luftschicht	S in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	$2\,\Delta$ in Skt.	Exposit.-Zeit in Sek.	Polarisation in Proz.
73 cm (5)	43	15	9,5	30	6
146 „ (5)	11,5	15	2,4	30	6
73 „ (1)	43	15	9,5	30	6
219 „	5	15	zu gering		

Der Versuch wurde wiederholt mit demselben Resultat.

Da der Zustand der Röhre, wenn diese in der Nähe des Bleikastens ist, vielleicht ein etwas anderer sein könnte als in größerer Entfernung, wurde die Entfernung wiederholt kommutiert und jedesmal nur S gemessen, jedoch es ergaben sich stets die in obiger Tabelle angegebenen Werte für S.

Zugleich war bei diesem Versuche zu erkennen, daß die Intensität der vom Radiator ausgehenden Sekundärstrahlung indirekt proportional ist dem Quadrat der Entfernung der Antikathode vom Radiator.

Resultat: Die Absorption in Luft ergab keine Zunahme der Polarisation.[1])

62. Primärstrahlen, in verschiedener Richtung emittiert. Alle bisherigen Versuche wurden mit Primärstrahlen angestellt, die senkrecht zu den Kathodenstrahlen in der Einfallsebene emittiert wurden, wobei unter Einfallsebene die durch die Normale zur Antikathode und durch die Achse der Kathodenstrahlen gelegte Ebene gemeint ist. In den folgenden Paragraphen werden Versuche angegeben werden, bei denen die Primärstrahlen in verschiedener Richtung emittiert wurden. Nun zeigt aber die Glaskugel einer X-Strahlenröhre eine beträchtliche Ungleichheit der Glasdicke an den einzelnen Stellen. Die Primärstrahlen erleiden also eine verschieden starke Absorption je nach der Emissionsrichtung und beeinflussen dadurch wieder die Sekundärstrahlung. Aus diesem Grunde ist bei den folgenden Versuchen bei jeder Emissionsrichtung und bei jeder Röhrenstellung immer die zugehörige Sekundärstrahlung gemessen nach Methode III und die Polarisation auf diese in jedem einzelnen Falle bezogen. Die erhaltenen Werte sind demnach nicht beeinflußt durch die ungleiche Dicke der Röhrenwandung. Nur wenn die Glasdicke allzu große Verschiedenheiten aufweist, müßte das Resultat des vorigen Paragraphen (Einfluß absorbierender Medien) berücksichtigt werden. Die Glasdicke selbst wird unten angegeben werden.

63. Polarisation bei verschiedenen Strahlungsebenen der Röhre I. Unter Einfallsebene sei die durch die Normale zur Antikathode und durch die Achse der Kathodenstrahlen gelegte Ebene verstanden, unter Strahlungsebene jede Ebene durch die Achse der Kathodenstrahlen. Der Winkel zwischen Einfallsebene und Strahlungsebene heiße ω. Darüber wurden zunächst folgende Versuche zur Bestimmung der Größe Δ gemacht:[2])

1) Die nun folgenden Versuche sind wieder mit der normalen Versuchsanordnung (Blenden, Abstand der Röhre) angestellt. Alle Messungen sind, wenn keine andere Angabe beigefügt ist, mit Röhre I ausgeführt.

2) Bei dieser und allen folgenden Messungen diente als Radiator die Paraffinkugel.

Methode I. Mittelweiche Strahlen. Exposition: 2 Min.

Röhrenstellung	Winkel zwischen Einfalls- und Strahlungsebene						
	$\omega = 0°$	$\omega = 10°$	$\omega = 20°$	$\omega = 30°$	$\omega = 40°$	$\omega = 50°$	$\omega = 60°$
0°	−25,0	−26,0	−25,0	−26,5	−26,0	−24,0	−27,0
90°	+25,5	+27,0	+25,0	+27,0	+27,0	+24,5	+24,0
180°	−25,0	−26,5	−26,5	−27,0	−28,0	−25,0	−26,5
270°	+26,5	+28,0	+27,5	+28,0	+28,5	+28,0	+28,0

Folglich ist die Polarisation vom Winkel ω zwischen Einfallsebene und Strahlungsebene unabhängig.

Eine genauere Messung wurde dann noch für die beiden Werte $\omega = 60°$ und $\omega = -60°$ ausgeführt. Sämtliche Versuche wurden bei mittelweichen Strahlen gemacht, nach Methode III.

a) $\omega = 0°$. Methode III. Mittelweiche Strahlen.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°][1])	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	48,0	47,0	44,0	52,0	46,5 Skt.	½ Min.
Polarisation:	−33,0	+34,0	−34,0	+36,0	−35,5 „	2 „

$S = 47{,}8$ Skt., $\Delta = 4{,}3$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 9$ **Proz.** Polarisation.

Methode II hatte für $w = 0$ bei mittelweichen Strahlen $x = 11$ Proz. Polarisation ergeben.

b) $\omega = +60°$. Methode III. Mittelweiche Strahlen.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	39,0	47,0	46,5	46,0	47,0 Skt.	½ Min.
Polarisation:	−32,0	+33,0	−33,0	+33,0	−32,0 „	2 „

$S = 44{,}6$ Skt., $\Delta = 4{,}1$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 9$ **Proz.** Polarisation.

c) $\omega = -60°$. Methode III. Mittelweiche Strahlen.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	45,0	49,5	45,0	47,0	45,0 Skt.	½ Min.
Polarisation:	−31,0	+35,0	−34,0	+30,5	−33,0 „	2 „

$S = 46{,}5$ Skt., $\Delta = 4{,}1$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 9$ **Proz.** Polarisation.

d) $\omega = 0°$. Methode III. Mittelweiche Strahlen.

Der Versuch wurde nur bei der Röhrenstellung 0° gemacht und ergab $S = 49{,}0$ Skt. in ½ Min. und $2\Delta = -31{,}1$ Skt. in 2 Min.

1) Die Werte für diese Stellung sind bei Berechnung von S nicht berücksichtigt, da nur bei einer geraden Anzahl von Beobachtungen die Größe Δ eliminiert wird, vgl. § 60.

Somit ist die Polarisation in allen Strahlungsebenen dieselbe.

Resultat: Die Polarisation hängt vom Winkel zwischen Strahlungs- und Einfallsebene nicht ab.

64. Polarisation bei verschiedenen Azimuten der Röhre I. Die Bezeichnung „Azimut“ sei auf den Winkel angewandt, den die Achse der Kathodenstrahlen mit der Achse des benutzten X-Strahlenkegels bildet. Dieser Winkel war bislang stets 90°. Nun wird die Polarisation bei verschiedenem Azimut gemessen werden.[1]) Die folgenden Messungen beziehen sich nur auf die bisher benutzte X-Strahlenröhre I.

Methode III. Mittelweiche Strahlen.

a) Azimut **90°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	45,0	42,5	48,0	46,0	48,0	Skt.	½ Min.
Polarisation:	−36,0	+36,0	−32,5	+35,5	−35,0	„	2 „

$S = 45{,}4$ Skt., $\Delta = 4{,}4$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S}$ = **10 Proz.** Polarisation.

b) Azimut **45°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	27,0	28,0	22,0	26,5	29,0	Skt.	½ Min.
Polarisation:	−7,5	+6,7	−6,8	+7,0	−7,0	„	2 „

$S = 25{,}8$ Skt., $\Delta = 0{,}9$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S}$ = **3 Proz.** Polarisation.

c) Azimut **30°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	29,0	25,5	26,0	25,0	25,5	Skt.	½ Min.
Polarisation:	−2,8	+3,2	−3,5	+3,5	−3,5	„	2 „

$S = 26{,}4$ Skt., $\Delta = 0{,}4$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S}$ = **1,5 Proz.** Polarisation.

d) Azimut **120°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	37,0	38,0	39,5	36,0	37;5	Skt.	½ Min.
Polarisation:	−30,0	+29,0	−30,5	+28,5	−30,5	„	2 „

$S = 37{,}6$ Skt., $\Delta = 3{,}8$ „ } in ½ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S}$ = **10 Proz.** Polarisation.

1) Für diese Versuche mußte für jedes Azimut ein besonderer Halter auf die Achse der Drehvorrichtung aufgeschraubt werden, der eine Drehung der Röhre um die X-Achse bei dem zu prüfenden Azimut ermöglichte. Es wurden deshalb nur wenige Azimute untersucht.

Dies Resultat wurde wiederholt für Azimut **120°** erhalten (bei mittelweichen Strahlen).

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	37,5	39,5	36,5	38,0	37,5 Skt.	$^1/_2$ Min.
Polarisation:	−30,5	+30,5	−29,0	+29,5	−30,5 „	2 „

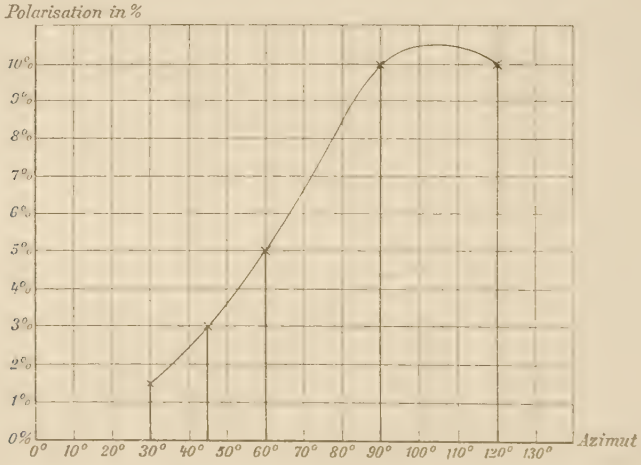
$S = 37{,}9$ Skt., $\Delta = 3{,}7$ „ } in $^1/_2$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S}$ = **10 Proz.** Polarisation.

Außerdem[1]) liegt noch eine Messung vor für ein Azimut von **60°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	0°	90°	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	6,1	6,6	5,6	6,0 Skt.	5 Sek.
Polarisation:	−14,5	+13,5	−15,0	+14,0 „	2 Min.

$S = 6{,}1$ Skt., $\Delta = 0{,}3$ „ } in 5 Sek. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S}$ = **5 Proz.** Polarisation.

Resultat: Innerhalb der Azimute von 30—90° nimmt bei Röhre I die Polarisation mit dem Azimut zu und dürfte ihr Maximum vermutlich zwischen 100° und 110° erreichen (graphische Darstellung 12).



Graph. Darstellung 12. Polarisation bei verschiedenem Azimut der Röhre I.

1) Azimute > 120° zu untersuchen ist nicht möglich wegen der Lage der Antikathodenebene, ebensowenig Azimute < 30°.

65. Polarisation bei verschiedenen X-Strahlenröhren. Alle bisher angegebenen Messungen wurden — mit Ausnahme der Absorptionsversuche — mit der Röhre I gemacht. Nun wurde eine neue Röhre, die als Röhre II bezeichnet werden soll, bezüglich der Polarisation untersucht. Der Versuch ergab folgendes:

Röhre II. Mittelweiche Strahlen. Azimut 90°. Methode III.
Radiator: Paraffinkugel.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	36,0	34,0	38,5	40,0	43,0	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−27,0	+26,0	−28,0	+27,0	−27,5	„	2 „

$S = 37{,}1$ Skt., $\Delta = 1{,}7$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **5 Proz.** Polarisation.

Röhre I. Mittelweiche Strahlen. Azimut 90°. Methode III.
Radiator: Paraffinkugel.

Röhrenstellung:	0°	96°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	46,0	45,0	47,5	47,0	45,5	Skt.	$^1/_2$ Min.
Polarisation:	−35,0	+35,0	−37,0	+36,0	−36,0	„	2 „

$S = 46{,}4$ Skt., $\Delta = 4{,}5$ „ } in $^1/_2$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **10 Proz.** Polarisation.

Röhre II. Mittelweiche Strahlen. Azimut 90°. Methode III.
Radiator: Paraffinkugel.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	35,0	33,0	36,0	38,0	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−28,0	+26,0	−29,5	+28,0	„	2 „

$S = 35{,}5$ Skt., $\Delta = 1{,}7$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **5 Proz.** Polarisation.

Zu diesen Versuchen ist folgendes zu bemerken: Wie man sieht, ist die Sekundärstrahlung bei den beiden Röhren sehr verschieden; dies rührt nur zum geringsten Teil von der verschiedenen Härte der beiden Röhren her, denn den beiden Röhren parallel geschaltete Funkenstrecken waren nur um 1 cm verschieden, wodurch bei gleicher Röhre keineswegs die Polarisation in Prozenten um die Hälfte ihres Wertes geändert wird. Das Bild der Hand auf dem Fluoreszenzschirm war ebenfalls bei beiden Röhren gleich kontrastreich. Die Verschiedenheit der Sekundärstrahlung kommt wohl davon her, daß eine neue Röhre eben intensivere X-Strahlen emittiert, als eine schon vielfach gebrauchte Röhre. —

Dann wurde noch eine andere, ebenfalls fast neue Röhre — Röhre III — untersucht.

Röhre III. Mittelweiche Strahlen. Azimut 90°. Methode III.
Radiator: Paraffinkugel.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	24,5	27,0	24,5	28,0	26,0 Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−6,5	+6,0	−7,0	+5,5	−6,5 „	$^1/_2$ „

$S = 26{,}0$ Skt., $\Delta = 1{,}6$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **6 Proz.** Polarisation.

Eine Wiederholung dieses Versuches ergab:

Röhre III. Mittelweiche Strahlen. Azimut 90°. Methode III.
Radiator: Paraffinkugel.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	26,0	28,0	24,0	29,0	28,0 Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−6,0	+6,3	−6,0	+6,5	−6,0 „	$^1/_2$ „

$S = 26{,}8$ Skt., $\Delta = 1{,}6$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **6 Proz.** Polarisation.

Härte und parallele Funkenstrecke waren dieselben wie bei Röhre I. Somit gilt das Resultat: Die Polarisation ist für verschiedene, dem gleichen Typus angehörende Röhren von gleicher Härte quantitativ verschieden, aber von derselben Größenordnung.

Dies mag ja wohl seinen Grund in der Anordnung der Teilchen der Antikathode haben. — X-Strahlenröhren von einem anderen Typus als den angegebenen kamen nicht zur Untersuchung.

Die primäre Induktorstromstärke war wie bei allen Versuchen, bei denen nichts anderes bemerkt ist, stets 3 Amp.

66. Polarisation bei verschiedenem Azimut der Röhre II. Die mit mittelweichen Strahlen gemachten Messungen ergaben folgendes:

a) Azimut 90°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	30,0	30,5	35,0	34,5	33,5 Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−25,5	+22,0	−26,0	+24,5	−22,0 „	2 „

$S = 32{,}5$ Skt., $\Delta = 1{,}5$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **5 Proz.** Polarisation.

b) Azimut 30°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit :
Sekundärstrahlung:	18,5	21,0	25,8	28,0	26,0 Skt.	¼ Min.
Polarisation:	−0,5	+0,4	−0,8	+0,8	−0,6 „	2 „

$S = 22{,}8$ Skt., $\Delta = 0{,}14$ „ } in ¼ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **0,2 Proz.** Polarisation.

c) Azimut 60°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	32,5	42,0	36,0	36,5	38,0 Skt.	¼ Min.
Polarisation:	−10,5	+10,5	−11,0	+10,0	−10,5 „	2 „

$S = 36{,}8$ Skt., $\Delta = 0{,}7$ „ } in ¼ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **2 Proz.** Polarisation.

d) Azimut 120°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	37,0	37,0	39,0	38,0	34,0 Skt.	¼ Min.
Polarisation:	−21,0	+18,0	−21,0	+20,0	−22,0 „	1 „

$S = 37{,}8$ Skt., $\Delta = 2{,}5$ „ } in ¼ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **7 Proz.** Polarisation.

Weitere Messungen bei Azimut 120°:

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	34,0	40,0	33,0	38,5	37,0 Skt.	¼ Min.
Polarisation:	−22,0	+21,5	−18,5	+19,5	−20,0 „	1 „

$S = 36{,}4$ Skt., $\Delta = 2{,}5$ „ } in ¼ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **7 Proz.** Polarisation.

e) Azimut 90°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	43,0	37,0	32,5	38,0	40,5 Skt.	¼ Min.
Polarisation:	−27,0	+26,5	−28,0	+27,0	−27,0 „	2 „

$S = 37{,}6$ Skt., $\Delta = 1{,}7$ „ } in ¼ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **5 Proz.** Polarisation.

Der Azimut 120° wurde wiederholt gemessen.

f) Azimut 90°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	35,0	33,0	36,0	38,0 Skt.	¼ Min.
Polarisation:	−28,0	+26,0	−29,5	+28,0 „	2 „

$S = 35{,}5$ Skt., $\Delta = 1{,}7$ „ } in ¼ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **5 Proz.** Polarisation.

g) Azimut 120°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	38,0	39,0	38,0	38,5	38,5 Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−22,0	+18,0	−21,0	+18,0	−19,5 „	1 „

$S = 38{,}4$ Skt., $\Delta = 2{,}5$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 7$ **Proz.** Polarisation.

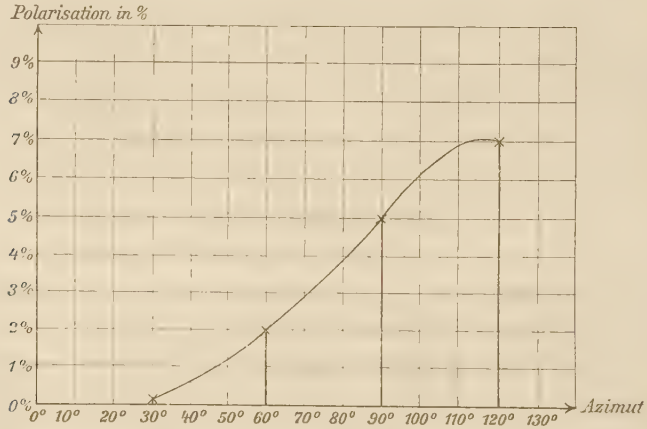
h) Azimut 90°.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	Exposit.:
Sekundärstrahlung:	36,0	37,0	39,0	36,0 Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−16,5	+15,5	−16,0	−15,0 „	1 „

$S = 37{,}0$ Skt., $\Delta = 2{,}0$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} = 5$ **Proz.** Polarisation.

Ein anderes Resultat war bei dieser Röhre nicht zu erhalten.

Resultat: Bei Röhre II nimmt die Polarisation innerhalb der Azimute von 30°—120° mit dem Azimut zu. Ob sie ihr Maximum bei kleinerem oder größerem Azimute als 120° erreicht, bleibt fraglich (graphische Darstellung 13).



Graph. Darstellung 13. Polarisation bei verschiedenem Azimut der Röhre II.

Möglicherweise ist bei dieser Röhre die Anordnung der Teilchen der Antikathode etwas anders als bei Röhre I. Auch ist wohl der Einfluß der Glaswand der Röhre nach § 61 zu berücksichtigen.

67. Polarisation bei verschiedenem Azimut der Röhre III. Die Messungen ergaben:

a) Azimut **90°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	22,0	25,0	23,4	26,0	25,0	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−5,8	+6,5	−6,4	+6,8	−6,0	„	$^1/_2$ „

$S = 24{,}1$ Skt., $\Delta = 1{,}6$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **6,6 Proz.** Polarisation.

b) Azimut **120°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	19,0	21,0	20,0	23,0	22,5	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−5,8	+5,2	−5,0	+5,5	+7,0	„	$^1/_2$ „

$S = 21{,}0$ Skt., $\Delta = 1{,}4$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **6,7 Proz.** Polarisation.

c) Azimut **105°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	28,0	30,0	29,5	31,5	29,5	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−7,0	+8,0	−7,5	+9,0	−8,0	„	$^1/_2$ „

$S = 29{,}8$ Skt., $\Delta = 2{,}0$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **6,7 Proz.** Polarisation.

d) Azimut **60°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	17,0	18,0	17,0	19,0	17,5	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−2,8	+2,5	−3,0	+2,8	−3,3	„	$^1/_2$ „

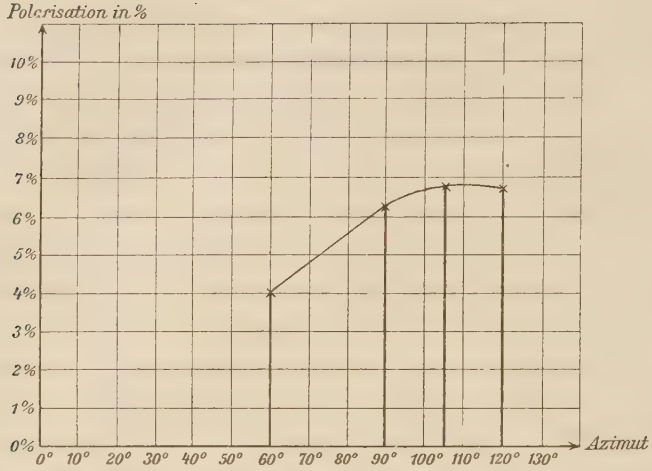
$S = 17{,}8$ Skt., $\Delta = 0{,}7$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **4 Proz.** Polarisation.

e) Azimut **90°**.

Röhrenstellung:	0°	90°	180°	270°	[360°]		Exposit.:
Sekundärstrahlung:	25,0	27,0	26,0	27,0	24,0	Skt.	$^1/_4$ Min.
Polarisation:	−6,5	+6,0	−6,5	+6,0	−6,0	„	$^1/_2$ „

$S = 27{,}8$ Skt., $\Delta = 1{,}6$ „ } in $^1/_4$ Min. $x = 100 \cdot \frac{\Delta}{S} =$ **6 Proz.** Polarisation.

Resultat: Innerhalb der Azimute von 60—90° nimmt bei Röhre III die Polarisation mit dem Azimut zu und erreicht ein Maximum bei ca. 110° (graph. Darstellung 14).



Graph. Darstellung 14. Polarisation bei verschiedenem Azimut der Röhre III.

68. Polarisation bei Azimuten, die größer als 90°. Die mit den drei Röhren angestellten Versuche ergaben, daß das Maximum der Polarisation nicht bei Azimut 90°, sondern bei höheren Werten des Azimuts, vermutlich bei ca. 110° liegt. Es soll versucht werden, dieses zunächst unerwartete Resultat zu erklären: Das Polarisationsmaximum ist bei solchen X-Strahlen zu erwarten, deren Emissionsrichtung mit der Richtung der auf die Antikathode auftreffenden Kathodenstrahlen einen Winkel von 90° bildet. Nun ist zu beachten, daß die Ebene der Antikathode gegen die ursprüngliche Richtung der Kathodenstrahlen unter 45° geneigt ist. Es ist wahrscheinlich, daß die Kathodenstrahlelektronen von der Antikathode stark elektrostatisch angezogen und dadurch aus ihrer ursprünglichen Richtung unmittelbar vor dem Aufprallen auf die Antikathode abgelenkt werden, so daß sie steiler als unter 45° auf die Antikathode auftreffen. Dem entsprechend ist auch ein Maximum der Polarisation für größere Azimute als 90° zu erwarten.

69. Abhängigkeit der Strahlungsintensität vom Azimut. Nachdem wahrscheinlich gemacht war, daß die unter ca. 110° gegen das Kathodenstrahlbündel geneigt aus der Röhre austretende X-Strahlung bei den drei verschiedenen Röhren verhältnismäßig am stärksten polarisiert ist, war es

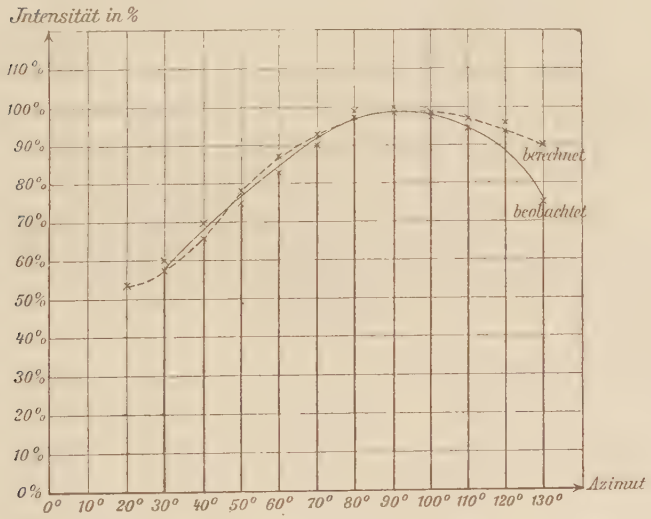
von Interesse, die Frage zu beantworten, wie die Intensität jener Strahlung sich mit ihrer Richtung ändert.

Die vorhergehenden Versuche dazu zu benutzen, ging nicht an, weil die Werte wegen Änderung der Röhrenbeschaffenheit nicht untereinander vergleichbar waren; es wurden deshalb besondere Versuche[1]) gemacht, die diese Fehlerquelle möglichst eliminierten, und zwar speziell über die Änderung der Strahlungsintensität in der „Einfallsebene" mit dem „Azimut". Hierbei wird die Intensität der Sekundärstrahlung als proportional angenommen mit der Intensität der X-Strahlung.

Es wurde gefunden, wenn die Intensität beim Azimut 90° gleich 100 gesetzt wurde, für Röhre I (graph. Darst. 15):

Azimut	Intensität	Azimut	Intensität
30°	60 Proz.	**90°**	**100 Proz.**
40	70 „	100	97 „
50	75 „	110	94 „
60	82 „	120	95 „
70	90 „	130	74 „
80	99 „		

Die Werte sind Mittel aus zwei Messungen.



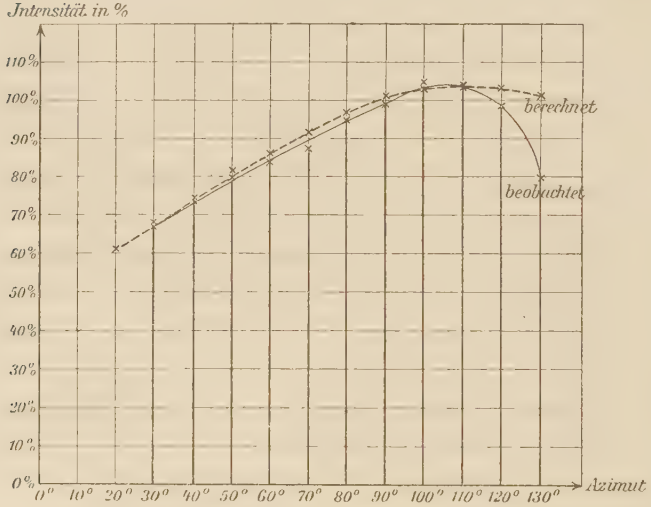
Graph. Darstellung 15. Intensität bei verschiedenem Azimut der Röhre I.

1) Zu diesen Versuchen wurde die Drehvorrichtung so gestellt, daß durch das Drehen der Röhre das Azimut verändert wurde, wozu eine Drehung der Röhre um 90° um ihre Längsachse nötig war; demnach wurde in der Einfallsebene beobachtet.

Die Messung mit Röhre II ergab (graphische Darstellung 16):

Azimut	Intensität	Azimut	Intensität
30°	67 Proz.	**90°**	**100 Proz.**
40	74 „	100	105 „
50	82 „	110	104 „
60	84 „	120	99 „
70	88 „	130	80 „
80	95 „		

Die Werte sind Mittel aus zwei Messungen.

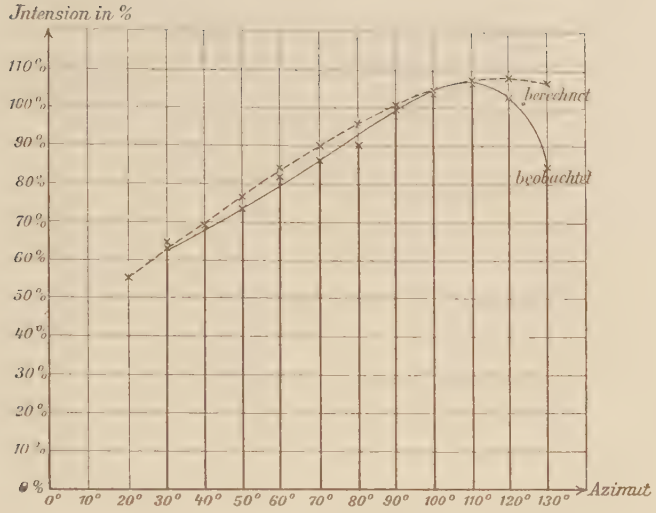


Graph. Darstellung 16. Intensität bei verschiedenem Azimut der Röhre II.

Die Messung mit Röhre III ergab (graphische Darstellung 17):

Azimut	Intensität	Azimut	Intensität
30°	64 Proz.	**90°**	**100 Proz.**
40	69 „	100	104 „
50	73 „	110	106 „
60	81 „	120	102 „
70	85 „	130	84 „
80	90 „		

Die Werte sind Mittel aus zwei Messungen.



Graph. Darstellung 17. Intensität bei verschiedenem Azimut der Röhre III.

Ein Vergleich dieser Resultate mit den obigen über Polarisation ergibt, daß die intensivste Strahlung auch relativ am stärksten polarisiert ist. In Übereinstimmung damit ist auch das Resultat, daß die Polarisation der X-Strahlen sich bei konstantem Azimut mit der Richtung zur Einfallsebene (vgl. § 63) nicht ändert, und daß nach früheren Versuchen auch die Intensität von jener nicht abhängig ist.

70. Von weiterem Interesse wäre es zu wissen, weshalb die Intensität der aus der Röhre ausgetretenen X-Strahlung in der Einfallsebene der Kathodenstrahlen so verschieden ausfällt.

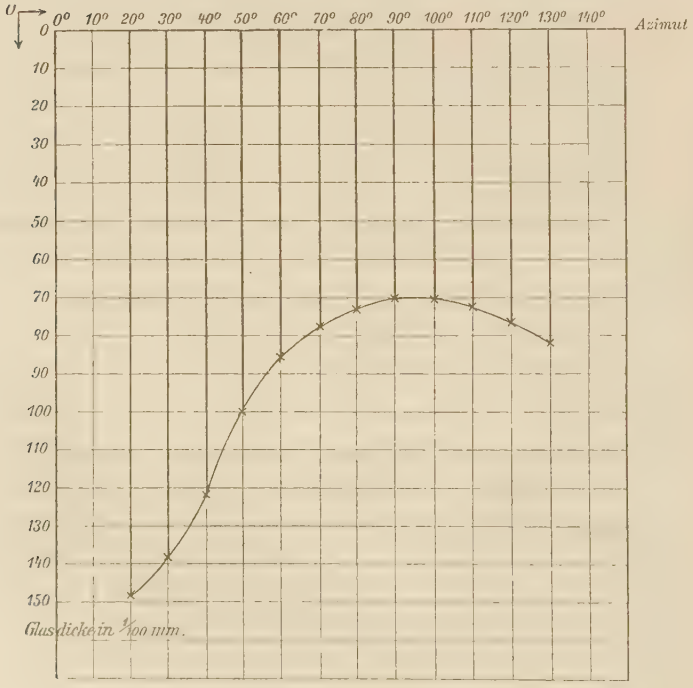
Röntgen[1]) hat diese Verschiedenheit durch verschiedene Dicke der Glaswand an verschiedenen Stellen erklärt und durch einen Versuch diese Ansicht gestützt.

Es wäre erwünscht, diesen Versuch mit besseren Hilfsmitteln zu wiederholen; dazu fehlte mir aber die Gelegenheit und ich habe mich darauf beschränken müssen, wenigstens die Dicke der Glaswand meiner Röhren an verschiedenen Stellen zu messen.

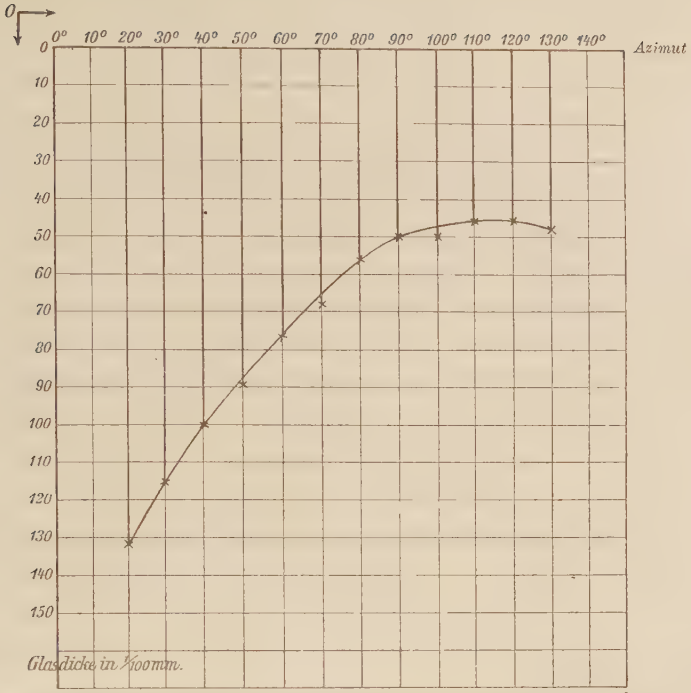
1) W. C. Röntgen, Berl. Ber. 1897. p. 395.

Ich fand darüber folgende Werte (graph. Darst. 18, 19 u. 20):

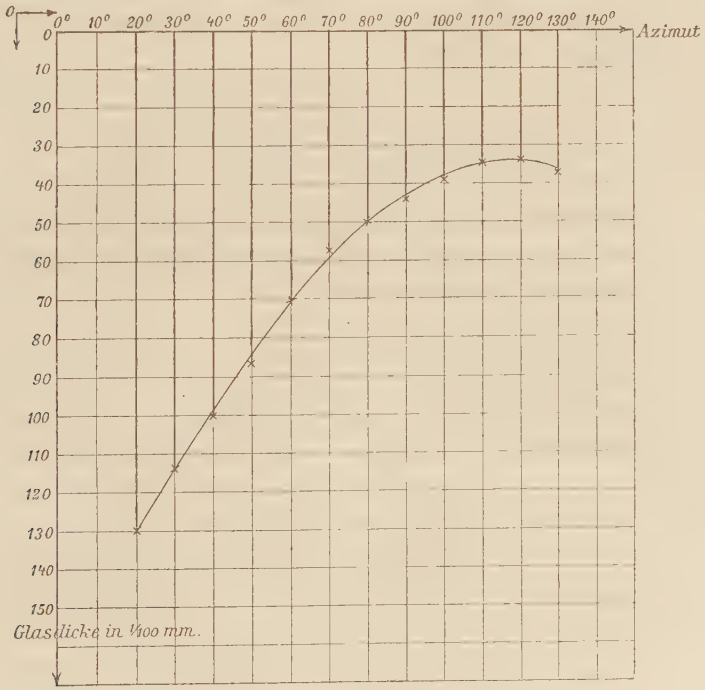
Azimut	Wandstärke der Röhre I	Wandstärke der Röhre II	Wandstärke der Röhre III
20°	0,149 cm	0,132 cm	0,130 cm
30	0,138 „	0,115 „	0,114 „
40	0,122 „	0,100 „	0,100 „
50	0,100 „	0,089 „	0,087 „
60	0,086 „	0,076 „	0,070 „
70	0,079 „	0,068 „	0,057 „
80	0,073 „	0,056 „	0,050 „
90	0,071 „	0,050 „	0,044 „
100	0,071 „	0,050 „	0,039 „
110	0,073 „	0,046 „	0,035 „
120	0,078 „	0,046 „	0,034 „
130	0,082 „	0,048 „	0,037 „



Graph. Darstellung 18. Glasdicke bei verschiedenem Azimut der Röhre I.



Graph. Darstellung 19. Glasdicke bei verschiedenem Azimut der Röhre II.



Graph. Darstellung 20. Glasdicke bei verschiedenem Azimut der Röhre III.

Es ergibt sich somit, daß wenigstens annähernd immer die Glaswand dort am dünnsten gefunden wurde, wo das intensivste Strahlenbündel austritt. Auffallend ist dagegen die starke Abnahme der Intensität in den drei Fällen, wenn man vom Azimut 110° zu 130° übergeht. Dieser Abnahme entspricht keineswegs eine entsprechend große Zunahme der Glasdicke. Hier kommt eine Erscheinung in Betracht, die auch Röntgen[1]) fand, nämlich daß die Intensität der X-Strahlung wesentlich abnimmt, wenn sie sich der Richtung der Antikathodenfläche nähert.

Bemerkung. Die „berechneten" Intensitäten in den graphischen Darstellungen 15—17 sind gewonnen unter der versuchsweisen Annahme einer homogenen X-Strahlung mit nur einem Absorptionskoeffizienten β im Glase unter Verwendung des bekannten Absorptionsgesetzes:

$$J' = J \cdot e^{-\beta d}.$$

Folgende β ergeben eine möglichst gute Darstellung der beobachteten Intensitäten:

Röhre I	Röhre II	Röhre III
$\beta_{\mathrm{I}} = 0{,}00778$	$\beta_{\mathrm{II}} = 0{,}00608$	$\beta_{\mathrm{III}} = 0{,}00679$

V.

Zusammenfassung der Resultate.

71. Im folgenden ist eine Zusammenstellung der in vorliegender Arbeit erhaltenen Versuchsresultate gegeben:

Bei den Vorversuchen sowohl wie bei den definitiven Versuchen ergab sich:

1. Durch die ionisierende Wirkung der Sekundärstrahlung von gasförmigen, flüssigen und festen Substanzen läßt sich eine teilweise Polarisation der X-Strahlen nachweisen. Als bestwirkender Radiator (Sekundärstrahlenquelle) einer größeren Anzahl von untersuchten Substanzen erwies sich eine Paraffinkugel, als unwirksamster eine Bleikugel.

2. Je härter die X-Strahlenröhre ist, desto weniger Polarisation vermag der Radiator anzuzeigen, und desto

1) W. C. Röntgen, Berl. Ber. 1897. p. 395.

größer ist die Intensität der Sekundärstrahlen; indessen zeigen selbst die härtesten Strahlen noch Polarisation.

3. Bei mittelweichen Strahlen vermag Paraffin 10 Proz. Polarisation zu zeigen, d. h., würde ohne Polarisation die Intensität der Sekundärstrahlen in jeder Richtung 100 Einheiten messen, so mißt infolge der Polarisation die Intensität parallel zu den Kathodenstrahlen 90, senkrecht dazu 110 Einheiten. Der Maximalwert, der je gemessen wurde, war 16 Proz. und wurde mittels weichster Strahlen erhalten.

4. Aluminium vermag bei mittelweichen Strahlen 5 Proz. Polarisation zu zeigen. Mit Blei läßt sich die Polarisation nicht mit völliger Sicherheit nachweisen.

5. Paraffiniertes Blei zeigt um so mehr Polarisation, je dicker die Paraffinschicht ist; bemerkbar macht sich schon eine Dicke von 0,25 mm.

6. Die Sekundärstrahlung des Paraffins kommt zum weitaus größten Teil aus dem Innern, nicht von der Oberfläche.

7. Sekundärstrahlen, die der Radiator schief gegen die Achse der Primärstrahlen emittiert, zeigen weniger Polarisation als die senkrecht emittierten.

8. Werden in den Gang der Primärstrahlen beträchtlich absorbierende Medien, wie Platin, Kupfer, Wasser, eingeschaltet, so bewirken diese eine Zunahme der Polarisation in Prozenten bis zum doppelten Wert.

9. Die Polarisation hängt vom Winkel zwischen Strahlungsebene und Einfallsebene nicht ab, wobei unter Strahlungsebene jede durch die Achse der Kathodenstrahlen gehende Ebene, unter Einfallsebene die durch die Normale zur Antikathode gehende Strahlungsebene verstanden wird.

10. Die Polarisation nimmt mit dem Azimut zwischen 30° und 90° zu; für Azimute, die größer als 90°, nimmt die Polarisation nicht ab, sondern scheint ein Maximum bei ungefähr 110° zu haben. Unter Azimut wird der Winkel zwischen Kathodenstrahl und auf Polarisation geprüften X-Strahl verstanden.

11. Die Polarisation und ihre Änderung mit dem Azimut ist für verschiedene Röhren gleicher Härte quantitativ verschieden, aber von derselben Größenordnung.

12. Die Intensität der X-Strahlen außerhalb der Röhre — gemessen an der Sekundärstrahlung — erwies sich in der Einfallsebene als stark abhängig vom Azimut. Die Glasdicke der drei Röhren zeigte insoweit dieselbe Abhängigkeit, als deren Minima zusammenfielen mit den Maxima der Strahlung (bei 100—110° Azimut). Nach 10. zeigte auch die Polarisation ungefähr bei demselben Azimut gleichfalls ihren maximalen Betrag.

13. Sämtliche Versuche und Methoden, die Polarisation der X-Strahlen photographisch durch Einwirkung der Sekundärstrahlung auf Films und Platten nachzuweisen, hatten negativen Erfolg.

Curriculum vitae.

Ich wurde am 13. Januar 1882 in Nördlingen geboren, besuchte dort Volksschule und Progymnasium, und trat dann in das Alte (humanistische) Gymnasium Würzburg ein, wo ich das Absolutorium erhielt. Im Oktober 1902 immatrikulierte ich mich an der Ludwig-Maximilians-Universität München, wo ich dem Studium der Physik oblag.